DIE NATURWISSENSCHAFTEN

30. Jahrgang | 24. April 1942 | Heft 17/18

Die Transmutation der chemischen Elemente, ein Kapitel physikalischer und chemischer Zusammenarbeit[1]).

Von Otto Hahn, Berlin-Dahlem.

Die Transmutation der chemischen Elemente, die Umwandlung unedler Metalle in edle mit Hilfe des „Steins der Weisen", war Sinn und Inhalt des Zeitalters der Alchemie. Um diese Hoffnung bewegte sich alles chemische Wissen und Forschen vom Ausgang des Altertums bis hinein in die neuere Zeit. Das Problem, den „Stein der Weisen" zu finden, wurde in jeder nur erdenklichen Weise bearbeitet und jeder, der sich im Besitze dieses wunderbaren Mittels glaubte, schrieb ihm die wunderbarsten Eigenschaften zu.

Sieht man auf diese alchemistischen Bestrebungen der fast tausendjährigen Arbeiten zurück, so gelangt man zu dem Ergebnis, daß ihnen eine Reihe falsch gedeuteter chemischer Prozesse zugrunde gelegen hat. Die Aussicht auf den Erwerb ungemessener Reichtümer war das mächtige Reizmittel zu den nutzlosen und doch stets erneuerten Anläufen der von der Richtigkeit ihrer Vorstellungen überzeugten Adepten.

Mit der Entwicklung der Chemie zu einer exakten Wissenschaft verschwand die Romantik der mittelalterlichen Goldmacher, man wurde nüchtern und kritisch, und mit dem Siegeslauf der chemischen Forschung im Laufe des 19. Jahrhunderts schien sich zunächst immer mehr die Überzeugung zu befestigen, daß die Atome der chemischen Elemente tatsächlich das sind, was ihr Name besagt, die letzten, unteilbaren und unveränderlichen Bausteine der Materie. Zwar hatte der englische Arzt Prout schon im Jahre 1815 die Hypothese aufgestellt, daß alle chemischen Elemente sich aus dem leichtesten Element, dem Wasserstoff, zusammensetzen. Diese Ansicht wurde aber fallen gelassen, als es sich zeigte, daß die Atomgewichte einer ganzen Reihe von chemischen Elementen von der Ganzzahligkeit, bezogen auf Wasserstoff als Einheit, abweichen.

Allmählich begann dann aber die Physik, ihren Einfluß auf die Vorstellungen vom Wesen der Materie auszuüben. Die Vielheit und die Gesetzmäßigkeiten der Linienspektren der chemischen Elemente, die Entdeckung der Kathodenstrahlen und der Nachweis des Elektrons als eines offensichtlichen Bestandteils der Materie, sie ließen sich mit dem Begriff des Atoms als einfachsten einheitlichen Elementarteilchens nicht mehr vereinen. Und dann kam als Folge der Entdeckung der Röntgenstrahlen die Entdeckung der radioaktiven Elemente. Nur weniger Jahre bedurfte es, um die zunächst völlig verblüffenden Eigenschaften dieser strahlenden Elemente zu erklären. Mit der von Rutherford und Soddy im Jahre 1902 aufgestellten Atomzerfallshypothese wurde die Unteilbarkeit und Unzerstörbarkeit der Atome aufgegeben: Die Transmutation der chemischen Elemente trat wieder auf den Plan.

Freilich, den alten Alchemisten würde man mit diesen Transmutationen nicht sehr imponiert haben. Die in beobachtbaren Zeitabschnitten umgewandelten Mengen von chemischen Elementen in andere sind so klein, daß sie auch mit der besten Waage des analytischen Chemikers nicht nachweisbar sind, und die in den langen Perioden der Erdgeschichte in größeren Mengen nachweisbaren Elementumwandlungen nehmen ihren Anfang bei den verhältnismäßig wertvollen Metallen Uran und Thor und enden bei dem viel wertloseren Blei. Ungemessene Reichtümer in materieller Beziehung waren mit diesen Elementumwandlungen also nicht zu gewinnen; aber ein sich immer steigernder Reichtum an grundlegenden Erkenntnissen auf fast allen Gebieten der exakten Naturwissenschaften, einschließlich Biologie und Heilkunde, war und ist noch die Frucht dieser neuen Wissenschaft.

Um zu diesen Erkenntnissen zu kommen, bedurfte es der exakten Methoden physikalischer Strahlenforschung; es bedurfte aber auch der gesicherten Anwendung chemischer Arbeits- und Trennmethoden. So sind diese beiden Wissenschaften, Physik und Chemie, die so lange nebeneinander her marschiert sind, ohne viel Notiz voneinander zu nehmen, heute mit- und ineinander verknüpft, und die „Transmutation der chemischen Elemente" mit all ihren Folgerungen ist ein besonders schönes Beispiel gegenseitiger Befruchtung.

An einigen Beispielen soll dies etwas ausführlicher dargelegt werden. Sie geben uns dabei zugleich einige Etappen auf dem Gebiete der experimentellen Atomforschung.

Nachdem Henri Becquerel zu Anfang des Jahres 1896 festgestellt hatte, daß Uranverbindungen gewisse Strahlen aussenden, die befähigt sind, durch schwarzes Papier hindurch die photographische Platte zu schwärzen, erhob sich ein Suchen nach anderen Substanzen, die ähnliche Eigenschaften aufweisen. Als Ergebnis wurde gefunden, daß außer dem Uran auch die Verbindungen des Thoriums solche „Becquerelstrahlen" aussenden. Systematische Untersuchungen dieser „radioaktiven" Substanzen ließen sich aber nicht gut mit der photographischen Platte durchführen, und so wurden von den Physikern, zunächst von

[1]) Nach einem Vortrag im Harnack-Haus der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft am 10. Februar 1942.

Herrn PIERRE CURIE, Methoden ausgearbeitet, die auch quantitative Strahlenmessungen ermöglichen. Mit Hilfe solcher „elektrometrischer" Methoden machte dann Frau MARIE CURIE die auffallende Beobachtung, daß in der Natur vorkommende Uranmineralien stärker radioaktiv sind als künstlich gewonnene Uranverbindungen. Dies ließ sich nur so erklären, daß in den Mineralien kleine Mengen stark aktiver Substanzen enthalten sind, die bei der Herstellung der handelsüblichen reinen Uranverbindungen von diesen abgetrennt werden. Nun begann eine rein analytisch-chemische Untersuchung der Mineralien durch das Ehepaar CURIE mit dem Ergebnis, daß im Jahre 1898 zwei stark radioaktive Elemente, das Polonium und das Radium, als ständige Begleiter von Uranmineralien aufgefunden waren. Das Polonium wurde gemeinsam mit dem Wismut, das Radium mit dem Barium zusammen abgeschieden. Die analytische Nachweismethode war dabei eine rein physikalische. Die Anreicherungen wurden gemessen durch die Intensität der Strahlen, die die einzelnen Verarbeitungsanteile emittierten.

Beim Radium gelang es dann allmählich, es in wägbaren Mengen zu gewinnen und den sicheren Nachweis zu führen, daß in ihm ein bisher unbekanntes chemisches Element, ein Homologes des Bariums, vorlag. Nunmehr konnte der Chemiker auch mit rein chemischen Methoden weiterarbeiten.

Mit der Herstellung der stark radioaktiven Substanzen ging auch die Untersuchung der von dem Uran, dem Thorium, dem Radium ausgesandten Strahlen Hand in Hand. Besonders wichtig waren unter den verschiedenen Strahlengruppen die sog. α-Strahlen. Wie RUTHERFORD zeigen konnte, wurden diese „Strahlen" durch starke magnetische und elektrische Felder aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt. Sie verhielten sich also nicht wie Wellenstrahlen, sondern wie materielle Teilchen, in gewisser Weise ähnlich den Kathodenstrahlen. Aus der Größe dieser Ablenkung hat dann RUTHERFORD die Masse jener Strahlenteilchen bestimmen können. Es handelte sich bei ihnen offenbar um schnell bewegte, geladene Atome des Edelgases Helium, das einige Jahre früher schon in gewissen, jetzt als radioaktiv erkannten Mineralien nachgewiesen worden war.

Der endgültige Beweis der Heliumnatur erfolgte dann durch die Chemiker RAMSAY und SODDY, die die Entstehung des Heliums in vorher völlig heliumfreien Radium- oder auch Emanationspräparaten spektroskopisch und volumetrisch bestimmten. Die Umwandlung eines chemischen Elements in ein anderes war damit auch für die anfangs nur zögernd mitgehenden Chemiker endgültig bewiesen.

Dabei ist allerdings diese Heliumbildung nur als eine Begleiterscheinung der einzelnen radioaktiven Atomumwandlungsprozesse anzusehen. Der allmähliche Zerfall des Radiums wie auch des Urans und des Thors führt über eine ganze Reihe der verschiedensten chemischen Elemente und endigt schließlich beim Blei. Und so sind das schwere Metall Blei und das leichte Edelgas Helium die letzten Überlebenden zahlreicher Elementtransmutationen.

Vielleicht ist es erlaubt, hier noch ein paar persönliche Erinnerungen physikalischer und chemischer Hilfeleistung aus meinem unmittelbaren Arbeitsgebiet anzuführen. Anfang 1905 fand ich in dem Laboratorium von Prof. RAMSAY durch einen glücklichen Zufall eine radioaktive Substanz, die ich als Radiothorium bezeichnete. Sie stand zweifellos in einer genetischen Beziehung zum Thorium. Die nach physikalischen Meßmethoden vorgenommenen Aktivitätsbestimmungen ließen auf eine Halbwertszeit des Radiothors von ungefähr 2 Jahren schließen. In Amerika prüfte dann Prof. BOLTWOOD Thoriumsalze des Handels auf ihre Aktivität und fand diese im Vergleich zu Thormineralien zu schwach. Offenbar enthielten diese Salze zu wenig Radiothor. Die Aktivität der Salze nahm aber nicht in dem Maße zu, wie sie nach meinen Messungen über das Radiothor hätten tun sollen. Auf Vorschlag von Prof. RUTHERFORD, bei dem ich damals arbeitete, wurde eine Aussprache zwischen BOLTWOOD und mir verabredet, denn wir beide beharrten auf der Richtigkeit unserer Messungen. Als Ausweg diskutierte ich dann die Möglichkeit, daß sich zwischen dem Thor und dem Radiothor ein längerlebiges Zwischenprodukt befinden könne, das bei der Gewinnung der Thorsalze von diesen abgetrennt worden sei. Mit dieser Hypothese konnte man unsere einander widersprechenden physikalischen Messungen erklären. Nach meiner Rückkehr nach Deutschland ging ich dann den merkwürdigen Aktivitätsbefunden weiter nach, und Anfang 1907 war das hypothetische Zwischenprodukt als neue radioaktive Substanz nachgewiesen. Ich nannte die Substanz Mesothorium, als zwischen dem Thor und dem Radiothor stehend. Die physikalischen Messungen hatten den Weg zur chemischen Abscheidung gewiesen.

Ganz ähnlich war es mit der Auffindung des zwischen dem Uran und dem Thorium an der 91. Stelle des Systems der Elemente stehenden Protactinium, der Muttersubstanz des Actiniums. Vom Actinium wußte man seit langem, daß es in einer genetischen Beziehung zum Uran stehen muß. Aber seine direkte Nachbildung aus dem Uran war nie festgestellt worden, obgleich es selbst mit einer Halbwertszeit von etwa 15 Jahren verschwindet. Jahrelang war deshalb auf eine langlebige Zwischensubstanz gefahndet worden. Durch die physikalischen Gesetzmäßigkeiten bei den Umwandlungsprodukten, die sich durch die von den radioaktiven Elementen emittierten α- und β-Strahlen ergeben, mußte die gesuchte Substanz entweder ein höheres Homolog des Tantals oder eine Art Radium sein. Die von LISE MEITNER und mir kurz vor dem Weltkrieg begonnenen, durch diesen zunächst unterbrochenen chemischen Abscheidungsversuche führten dann später zum Erfolg. Das

von uns aufgefundene, Protactinium genannte Element ist in der Tat ein Homolog des Tantals mit der Ordnungszahl 91. Rein hergestellt ist es einige hunderttausendmal stärker aktiv als das Uran und gewichtsmäßig in ebenso großen Mengen in Uranmineralien enthalten wie das Radium. Seine Halbwertszeit ist 30000 Jahre, 20mal größer als die des Radiums, so daß es praktisch als ein stabiles chemisches Element anzusehen ist. — Eine andere Erinnerung ist ebenfalls mit der Actiniumreihe verknüpft. In den Jahren 1907 und 1908 war bei den Transmutationsprodukten des Actiniums, dem sog. „aktiven Niederschlag", der aus der Actiniumemanation entsteht, von verschiedenen Forschern eine äußerst geringe Restaktivität beobachtet worden, deren Ursprung und Natur nicht festgestellt werden konnte. Durch eine systematische Untersuchung habe ich dann gefunden, daß es sich bei dieser merkwürdigen Beobachtung um das Vorliegen eines anderen Actiniumprodukts, des schon länger bekannte Actiniums X, handelte. Wie war aber dieses nicht flüchtige Erdalkalimetall in den aktiven Niederschlag der gasförmigen Actiniumemanation gelangt? In der Zusammenfassung meiner Versuche im Jahre 1909 gab ich dann als Erklärung folgende Punkte an (sie sind hier etwas gekürzt): 1. Unter geeigneten Bedingungen erhält man beim Aktivieren mit Actiniumpräparaten an der negativen Elektrode außer dem aktiven Niederschlag eine gewisse Restaktivität. 2. Die Untersuchung der die Restaktivität bedingenden Substanz ergab, daß sie Actinium X vorstellt. 3. Das Auftreten des AcX wird nicht bedingt durch einen hohen Dampfdruck dieser Substanz. 4. Es wird nicht bedingt durch eine hypothetische langlebige Emanation zwischen Radioactinium und Actinium X. 5. Es hat sich vielmehr ergeben, daß das Actinium X als eine Folge des explosiblen Zerfalls des Radioactiniums an der Elektrode auftritt. *Das im Moment seiner Entstehung aus dem Radioactinium positiv geladene Actinium X-Restatom erhält einen Rückstoß, der es aus dem Atomverband löst,* und wird nach der negativen Elektrode transportiert. 6. In Übereinstimmung mit dieser Hypothese gelingt es nicht, aus reinen AcX-Präparaten die Restaktivität zu erhalten, während beim Radioactinium die Wirkung völlig unabhängig von dessen Gehalt an AcX ist.

Kurz nach dieser Mitteilung haben LISE MEITNER und ich diesen Rückstoß radioaktiver Transmutationsprodukte für die Gewinnung reiner Umwandlungsprodukte α-strahlender Radioelemente angewandt und neue Zerfallsprodukte aufgefunden. Heute spielen derartige Rückstoßerscheinungen eine erhebliche Rolle für die Reinabscheidung künstlich radioaktiver Substanzen und ihre Verwendung als „radioaktive Indikatoren".

Ein besonders wichtiges Kapitel sich gegenseitig ergänzender chemischer und physikalischer Arbeitsmethoden finden wir in dem großen Gebiet der Isotopenforschung. Die systematische Untersuchung der chemischen Eigenschaften der zahlreichen bei der Transmutation der Elemente Uran, Thorium und Actinium entstehenden instabilen Umwandlungsprodukte ergab die große Schwierigkeit, wie man diese vielen Substanzen im Periodischen System unterbringen sollte. Es waren nicht genügend Plätze frei. Es gab Gruppen von Substanzen, die auch mit den subtilsten chemischen Trennungsmethoden nicht voneinander zu trennen waren. Dabei hatten sie aber völlig verschiedene radioaktive Eigenschaften, und nach ihrer Entstehungsgeschichte mußten sie ein verschiedenes Atomgewicht haben. Beispiele hierfür waren das Radium und das Mesothor, das Thorium und das Radiothor, das sog. RaD und das Blei. SODDY hatte daraufhin als erster den Mut zu behaupten, daß derartige Gruppen von chemisch untrennbaren Substanzen trotz ihres verschiedenen Atomgewichts im System der Elemente an ein und derselben Stelle unterzubringen seien. Er nannte solche Substanzen Isotope. Danach ist das Mesothor isotop mit dem um 2 Masseeinheiten leichteren Radium, das Radiothor isotop mit dem um 4 Masseeinheiten schwereren Thorium usf. Und nicht nur zwei, sondern auch drei, vier und mehr elementare Stoffe kamen dadurch als Isotope auf den gleichen Platz im Periodischen System. Die Schwierigkeit der Unterbringung der zahlreichen Transmutationsprodukte waren damit behoben.

Eine glänzende Bestätigung fand diese Erkenntnis durch die Untersuchung der bei den sukzessiven Transmutationen der drei radioaktiven Reihen entstehenden inaktiven Endprodukte, den isotopen Bleiarten. So hat das Blei, das bei dem allmählichen Zerfall des Urans übrigbleibt, das Atomgewicht 206, das aus Thorium 208, das aus Actinium 207. Nachdem man vor allem das Uranblei in fast beliebiger Gewichtsmenge aus genügend großen Mengen von Uranmineralien abscheiden kann, wurde durch diese Atomgewichtsbestimmungen der letzte Zweifel an der Isotopenlehre beseitigt.

Da man durch Messung der Strahlenintensität des Urans die Geschwindigkeit bestimmen kann, mit der die allmähliche Transmutation des Urans in das Blei erfolgt, kann man durch eine analytische Bestimmung des Uranbleies in Uranmineralien die Dauer des Bleibildungsprozesses bestimmen und damit das geologische Alter des Minerals. Man hat auf diese Weise durch die Untersuchung von Uranmineralien verschiedenen geologischen Alters auf ihren Gehalt an Uranblei eine Zeitskala für die geologische Altersbestimmung der einzelnen Erdperioden aufstellen können. Die ältesten Mineralien unserer festen Erdkruste haben nach dieser Bleimethode ein Alter von etwa 1500 Millionen Jahren.

Die Isotopie blieb nicht auf die Umwandlungsprodukte der radioaktiven Zerfallsreihen beschränkt. Durch die physikalischen Methoden der Ablenkung geladener Masseteilchen, sog. Kanal-

strahlen chemischer Elemente in elektrischen und magnetischen Feldern, die zuerst von ASTON in England mit großem Erfolg angewandt wurden, wurden alle gewöhnlichen chemischen Elemente des Periodischen Systems auf ihre isotope Zusammensetzung hin untersucht und viele davon als sehr isotopenreiche Mischungen erkannt. Man unterscheidet deshalb im Sprachgebrauch jetzt allgemein das für den praktischen Chemiker in Frage kommende chemische Element von den isotopen Einzelatomarten, deren konstante Mischung in der Natur und in den chemischen Verbindungen dann das Element vorstellt. Mit der Tatsache, daß viele chemische Elemente Mischungen isotoper Atomarten sind, verschwand dann auch der Hauptbeweisgrund gegen die obenerwähnte ‚PROUT'sche Hypothese, daß die Atome der chemischen Elemente ganzzahlige Vielfache eines Atoms mit der Masse 1 seien. Denn nun brauchten nicht mehr die in den Elementen vorliegenden Isotopenmischungen ganzzahlige Vielfache eines Atoms mit der Masse 1 zu sein, sondern nur die einzelnen in dem Element enthaltenen Atomarten. Und dies stimmte viel besser.

Für den modernen Kernphysiker sind die einzelnen isotopen Atomarten, ihr genaues Atomgewicht, von grundlegender Bedeutung. Ihre Untersuchung geschieht mit dem „Massenspektrographen", der in Deutschland durch MATTAUCH und HERZOG zu einem Instrument von höchster Präzision entwickelt worden ist.

Ein Beispiel für die Fruchtbarkeit massenspektroskopischer Untersuchungen bei Fragen der Transmutation der chemischen Elemente bietet das Element Rubidium. Das Rubidium ist schwach radioaktiv. Es sendet β-Strahlen aus und muß sich deshalb dabei in das nächsthöhere Element, das Strontium, umwandeln. Nicht bekannt war, welches der beiden bekannten Isotope des Rubidiums der Träger seiner Radioaktivität ist oder ob gar ein drittes, unbekanntes, seltenes Rubidiumisotop die Ursache dafür ist. Um diese Frage zu prüfen, verschaffte ich mir bei einem Aufenthalt in USA. einige Kilogramm eines geologisch alten kanadischen Glimmers, der ein paar Prozent Rubidium enthielt. Eine ungefähre Strontiumbestimmung ergab nur wenig von diesem Element, so daß anzunehmen war, daß dies wenige Strontium der Hauptsache nach ein Transmutationsprodukt des Rubidiums sei. In einer sehr subtilen analytisch chemischen Arbeit haben die Herren STRASSMANN und WALLING im Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie die kleine Menge Strontium aus dem kanadischen Glimmer quantitativ herauspräpariert. Prof. MATTAUCH hat dann dieses Strontium in seinem Massenspektrographen untersucht und festgestellt, daß es aus der reinen Atomart vom Atomgewicht 87 besteht. Das gesamte, in dem Glimmer enthaltene Strontium war also bei der Transmutation des Rubidium-Isotops vom Atomgewicht 87 entstanden. Rubidium 87 ist also der Träger der Aktivität. Aus der durch Aktivitätsmessungen bestimmten Umwandlungsgeschwindigkeit dieses Rubidiumisotops und seiner prozentischen Beteiligung im Mischelement Rubidium läßt sich, wie im Falle des Bleis aus Uranmineralien, das an sich sehr langsame Tempo der Strontiumbildung in einem Rubidiummineral bekannten Rubidiumgehalts bestimmen und aus der Gesamtmenge des gebildeten Strontiums das Alter des Minerals. Für unseren kanadischen Glimmer ergab sich auf diese Weise das ungeheure Alter von fast 2000 Millionen Jahren; er ist wohl das älteste Mineral, das bisher gefunden wurde.

Diese für geologische Altersbestimmungen verwendete Strontiummethode ist allgemeiner Anwendung fähig und hat gegenüber der bisher für Altersbestimmungen verwendeten Blei- und Heliummethode unverkennbare Vorteile, besonders für geologisch alte Mineralien. Auch in diesem Fall zeigt sich also die Zweckmäßigkeit vereinter chemischer und physikalischer Arbeitsweisen.

Die Beispiele von Transmutationen, die ich bisher gebracht habe, beziehen sich alle auf in der Natur vorkommende Elementumwandlungen. Sie gehen ohne unser Zutun vor sich; sie lassen sich nach gemeinsamen physikalischen und chemischen Arbeitsmethoden untersuchen, aber bisher durch keinerlei Mittel in ihrem Ablauf beeinflussen.

Zu den natürlichen radioaktiven Atomarten kommen nun seit einer Reihe von Jahren die künstlich radioaktiven Atomarten hinzu, und die Transmutationsprozesse, die künstlichen Atomumwandlungen, haben schon heute einen Umfang angenommen, daß ihre Bedeutung für die reine und angewandte Forschung noch gar nicht abzusehen ist. Physik und Chemie helfen und ergänzen sich hier in der mannigfachsten Weise.

Ein paar Beispiele seien wieder gebracht. Im Jahre 1934 beobachtete das Ehepaar CURIE-JOLIOT, daß bei der Bestrahlung einiger leichter Elemente, wie z. B. Bor und Aluminium, mit den α-Strahlen natürlich radioaktiver Substanzen eine neuartige Erscheinung auftrat. Wurden diese Elemente eine gewisse Zeit bestrahlt und wurde dann die Strahlenquelle entfernt, dann ließ sich bei diesen Elementen noch eine geringe Eigenstrahlung nachweisen, die nach den bekannten Gesetzen radioaktiver Umwandlungen allmählich verschwand. Offenbar hatten sich durch die Bestrahlung neue Atomarten gebildet, die aber nicht, wie dies bei anderen Prozessen schon früher festgestellt war, bekannte stabile Isotope vorstellten, sondern die ihrerseits noch instabil, also radioaktiv waren. Die radioaktive Atomart beim Bor zerfiel mit einer Halbwertszeit von 10 Minuten, die beim Aluminium mit etwa 3 Minuten. Aus der Art der Strahlung schlossen CURIE und JOLIOT, daß die aus dem Bor entstandene Atomart ein radioaktiver Stickstoff, die aus dem Aluminium ein aktiver Phosphor sein müsse. Und hier bot sich nun durch die leicht nachweisbaren Strahlen dieser

Substanzen ein Weg, diese Entstehung künstlich aktiven Stickstoffs und künstlich aktiven Phosphors mittels rein chemischer Reaktionen zu beweisen. Von der bestrahlten Borverbindung konnte der künstlich aktive Stickstoff als Ammoniak vom Bor abgetrennt werden; beim Aluminium gelang die Abtrennung des aktiven Phosphors ebenfalls durch dessen Wasserstoffverbindung. Hiermit waren also künstlich hervorgerufene Atomumwandlungen zum ersten Male mittels rein chemischer Reaktionen nachweisbar geworden und damit der angenommene Umwandlungsprozeß sichergestellt.

Die Entwicklung ging seit dieser Zeit in immer stürmischerem Maße weiter. Die zur Herstellung der ersten künstlichen Radioelemente verwendeten α-Strahlen des Radiums haben wegen ihrer positiven Ladung nicht die Möglichkeit in die stark positiv geladenen Atomkerne schwererer Elemente einzudringen. Sie erfahren wegen ihrer gleichen elektrischen Ladung eine zu starke Ablenkung. Deshalb wurde ein wesentlicher Fortschritt in der Gewinnung aktiver Atomarten erzielt, als FERMI an Stelle der positiv geladenen α-Teilchen die elektrisch neutralen „Neutronen" als Geschosse für die Transmutationen heranzog. Mit Hilfe dieser Neutronen gelang es nun bald, künstlich radioaktive Isotope fast aller chemischen Elemente des Periodischen Systems zu gewinnen. Ja, es konnten sogar auch künstliche Vertreter von solchen Elementen dargestellt werden, die ihrerseits in der Natur bisher nicht gefunden worden sind und vermutlich auch in Zukunft als stabile Elemente nicht gefunden werden. Mit Hilfe der synthetisch gewonnenen radioaktiven künstlichen „Indikatoren" lassen sich nunmehr die chemischen Eigenschaften dieser im Periodischen System fehlenden Substanzen eindeutig feststellen.

Hand in Hand mit der Gewinnung der zahlreichen künstlich radioaktiven Atomarten und der Feststellung ihrer chemischen Natur ging die Entwicklung der physikalischen Methoden zur Schaffung der für ihre Herstellung notwendigen Strahlenquellen. Man ist heute nicht mehr auf das Radium und die anderen natürlichen radioaktiven Substanzen als strahlenliefernde Quellen angewiesen. Hochspannungsanlagen, van de Graaff-Generatoren und vor allem das Cyclotron liefern Strahlenteilchen, die an Intensität vielen Kilogramm Radium gleichwertig sind. Der Chemiker, der Biologe, der Mediziner bekommt damit Substanzen in die Hand, die sich schon heute als unschätzbare Hilfsmittel in der chemischen Forschung und Technik, bei Stoffwechselversuchen an Pflanze, Tier und Mensch, in der praktischen Heilkunde bewährt haben.

Das Wesentliche bei all diesen Anwendungen ist die unter Strahlenemission verlaufende Transmutation der aktiven Stoffe in inaktive. Der Nachweis dieser Strahlen ist durch die physikalischen Hilfsmittel, wie Geiger-Müller-Zählrohr, Wilsonkammer, Elektrometer, derartig empfindlich und sicher, daß man durch die strahlenden Atome die kleinsten Spuren der zu ihnen gehörenden Elemente erkennen kann. Man hat diese künstlich aktiven Isotope gewöhnlicher chemischer Elemente deshalb folgerichtig auch als „Spurensucher" bezeichnet.

Zahlreich sind die Arbeiten, die allein auf dem weiten Gebiete der Chemie mit diesen „Spurensuchern" als Indikatoren für die chemischen Elemente, denen sie zugehören, durchgeführt worden sind. Die Untersuchungen erstrecken sich auf anorganische, analytische und präparative, auf physikalische, technische Chemie und Kolloidchemie und schließlich ganz besonders auf die Biochemie.

Zum Schluß soll noch eine Gruppe künstlicher Transmutationen Erwähnung finden, bei der wieder chemische und physikalische Untersuchungsmethoden sich auf das glücklichste ergänzt haben. Bei all den Atomumwandlungen, auf die sich unsere bisherigen Ausführungen beziehen, werden immer nur leichte Teilchen, wie α-Strahlen, β-Strahlen, Neutronen, Wasserstoffteilchen, abgesplittert oder angelagert. Eine eigentliche „Zertrümmerung" des getroffenen Kerns trat nicht ein, schien auch nach dem bis vor kurzem gültigen Stande der kernphysikalischen Vorstellungen bei schweren Atomen unmöglich.

Nun hatte ich in Gemeinschaft mit Herrn STRASSMANN, im Anschluß an vorhergehende gemeinsame Versuche mit LISE MEITNER und an Versuche von Frau CURIE-JOLIOT, bei der Bestrahlung des Urans mit Neutronen einige Umwandlungsprodukte bei der Gruppe der Erdalkalimetalle gefunden, die man für künstliche Isotope des dem Barium ähnlichen Radiums ansprechen mußte. Als Träger für die Aktivitäten diente das Barium. Ein Vergleich der chemischen Eigenschaften der künstlichen „Radiumisotope" mit natürlichem Radium ergab aber gewisse kleine Unterschiede. Die Versuche wurden nach verschiedenen Richtungen hin systematisch fortgeführt, weil sie unverständlich waren. Schließlich mischten wir sorgfältig gereinigte Radiumisotope mit unseren künstlichen für Radium gehaltenen Atomarten und machten fraktionierte Kristallisationen der verschiedensten Bariumsalze, die als Träger für die aktiven Substanzen fungierten. Von natürlichen Radiumisotopen wurde sowohl das α-strahlende ThX wie das β-strahlende Mesothor benutzt; von unseren künstlichen Körpern wählten wir einen kurzlebigen und einen längerlebigen. Die Beobachtungen waren immer die gleichen. Die natürlichen Radiumisotope ließen sich vom Barium allmählich abtrennen, die künstlichen Produkte nicht. Die Ergebnisse zwangen uns schließlich zu dem Schluß, daß unsere künstlichen „Radiumisotope" gar kein Radium waren, sondern Barium, eine völlig unvorhergesehene Erkenntnis.

Unmittelbar nach unserer ersten Mitteilung wurden diese Ergebnisse in zahlreichen Labora-

torien Europas und Amerikas nach physikalischen Methoden bestätigt und erweitert; zuerst von MEITNER und FRISCH in Kopenhagen. Bei der Bestrahlung des Urans mit Neutronen wird der ganze Kern dieses schweren Elements zersprengt, er zerplatzt oder spaltet sich in zwei leichtere Elemente, z. B. in das Barium und, wie dann bald festgestellt wurde, in das Krypton. Dieser Spaltungsprozeß geht mit einer derartigen Energie vor sich, daß die Spaltprodukte mit einer großen Geschwindigkeit voneinander wegfliegen und, wie beim radioaktiven Rückstoß, den Molekülverband des Urans verlassen können. Durch diese Eigenschaft konnte der physikalische Nachweis der Spaltung so schnell erbracht werden.

Sehr bald haben wir in Dahlem, und andere Forscher an anderen Stellen, noch eine große Anzahl weiterer Spaltprodukte chemisch nachgewiesen, so daß heute 23 verschiedene Elemente in Form von mehr als 80 verschiedenen „aktiven Atomarten" als direkte oder indirekte Kerntrümmer festgestellt sind.

Aber auch die Physiker haben den neuen Vorgang mit ihren Methoden geprüft und sind zu wichtigen Ergebnissen gelangt. Bemerkenswert unter diesen ist die Erkenntnis, daß bei den Spaltprozessen außer den eigentlichen Atombruchstücken noch zusätzliche Neutronen frei werden. Diese können dann ihrerseits weitere Spaltungen bewirken, und man könnte sich dabei eine sog. „Kettenreaktion" denken, die eine immer größere Vermehrung der Spaltprodukte zur Folge hätte. Aber auch hier ist dafür gesorgt, daß die Bäume nicht in den Himmel wachsen. Es gibt bei den Prozessen nämlich auch Vorgänge, die die Neutronen schlucken, bevor diese die weiteren Spaltungen auslösen können. Und so muß es der Zukunft überlassen werden, ob die mit den Spaltungen des Urans einhergehenden enormen Energieentwicklungen einmal der praktischen Ausnützung zugänglich gemacht werden können oder nicht.

Aus all dem Vorausgegangenen haben wir gesehen, daß die Transmutation der chemischen Elemente kein unerfüllter Traum wirklichkeitsfremder Schwärmer oder goldhungriger Adepten mehr ist. Ihre Bedeutung dafür, daß wir erkennen „was die Welt im Innersten zusammenhält", ihr immer klarer hervortretender Wert für die reine und angewandte Forschung ist mehr wert als das Gold, das man einst durch die Transmutation der unedlen Metalle gewinnen wollte. Und so sagen wir in Anlehnung an das französische Wort „le roi est mort, vive le roi": Die Transmutation der Elemente ist tot, es lebe die Transmutation der Elemente.

Biologische Grundfragen in physikalischer Betrachtung.

Von U. DEHLINGER und E. WERTZ, Stuttgart.

L. v. BERTALANFFY[1] hat 1940 in dieser Zeitschrift Überlegungen mitgeteilt, bei welchen der biologische Organismus als physikalisches System behandelt wird, das nicht im thermodynamischen Gleichgewicht ist und trotzdem seinen Zustand quasistationär aufrechterhält. Neben allgemeinen Schlüssen wird eine Differentialgleichung für die Massenzunahme eines Organismus abgeleitet, deren Lösung ergibt, daß sich ein stationäres Endgewicht einstellt, das vom Anfangszustand und vom Wachstumsverlauf weitgehend unabhängig ist. Von der gleichen Grundannahme ausgehend, ist der Verfasser[2]) 1935 zu einer etwas anderen Schlußfolgerung gelangt; da diese ebenfalls biologische Bedeutung zu haben scheint, dürfte es interessant sein, die beiden Überlegungen zu vergleichen.

Die Differentialgleichung von BERTALANFFY lautet:

$$\frac{dm}{dt} = \eta o - \varkappa m .$$

Darin bedeuten m die Masse, o die Oberfläche des Organismus, t die Zeit, η und $\varkappa$ Konstanten. Die Gleichung besagt also, daß die Massenzunahme gleich der Nahrungsaufnahme durch die Oberfläche minus dem Verbrauch im Innern ist, der proportional der Gesamtmasse gesetzt wird. Wie leicht zu sehen, ermöglicht gerade dieses zweite Glied das Bestehen des stationären Zustands, für den $dm/dt = 0$ ist. Dieses Glied ist zwar mathematisch sehr einfach, setzt aber bei genauerer Betrachtung das Bestehen eines höchst komplizierten Regulationsmechanismus voraus, der dafür sorgt, daß die durch die Oberfläche gegangenen Nahrungsmittel unabhängig von der jeweiligen Größe stets gleichmäßig im Innern verteilt werden. Die höheren Organismen besitzen im Blutkreislauf usw. derartige Mechanismen, und für sie scheint der Ansatz in der Tat zuzutreffen; man muß sich aber einmal überlegen, was sich für die primitivsten denkbaren Organismen ergibt, bei welchen ein derartiger Mechanismus nicht vorausgesetzt werden kann.

Dann werden die durch die Oberfläche gegangenen Nahrungsmittel zunächst in deren Nähe abgelagert und durch Diffusion und ähnliches ins Innere befördert. Beim Wachsen des Gebildes wird der Weg ins Innere immer länger und die Menge der je Zeiteinheit dahin gelangenden Nahrungsmittel immer kleiner, so daß die chemischen Reaktionen, die für das Leben auch im Innern notwendig sind, dort allmählich absterben. In der Formel ist dann der Verbrauch nicht mehr proportional der Gesamtmasse m, sondern der Masse einer an der Oberfläche liegenden Schicht von nahezu kon-

[1]) L. v. BERTALANFFY, Naturwiss. **28**, 521 (1940) — Roux' Arch. **1934**, 131.

[2]) U. DEHLINGER, Naturwiss. **23**, 585 (1935).

stanter Dicke δ zu setzen. Also ergibt sich jetzt

$$\frac{dm}{dt} = \eta o - \varkappa \delta o = (\eta - \varkappa\delta)\, o.$$

Das Gebilde wird also, wenn es überhaupt wächst (d. h. wenn der konstante Klammerausdruck positiv ist), weiterwachsen, ohne eine Grenze zu erreichen. Ein stationärer Zustand stellt sich somit hier nicht ein. Um das dann notwendig eintretende Absterben des Innern zu vermeiden, gibt es eine — und wohl nur eine — einfache Möglichkeit: Das Gebilde muß sich von Zeit zu Zeit teilen und dadurch seine Oberfläche vervielfachen. Diese Teilung kann verhältnismäßig einfach physikalisch-chemisch ausgelöst werden durch den beim Weiterwachsen allmählich eintretenden Mangel an Nahrungsmitteln im Innern.

Am einfachsten wird die Teilung vor sich gehen, wenn sie längs einer Ebene erfolgt, so daß sich jedesmal nur 2 Teile bilden. Dann muß das Auf-

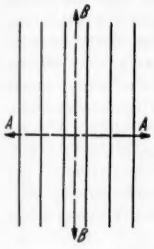


Fig. 1. Schema des in einer Richtung periodischen Aufbaus des Gens. $A-A$ ist die Richtung der Periodizität und die Richtung, längs der das Wachstum sowie die Diffusionsvorgänge erfolgen. $B-B$ ist die Spur der Teilungsebene, also die Längsrichtung des Chromosoms.

wachsen und die Anlagerung der in das Innere eindiffundierenden Stoffe, die ja die Teilung auslösen soll, in Schichten parallel zu dieser Ebene erfolgen (vgl. Fig. 1). Die Diffusion geht dann vorzugsweise senkrecht zu diesen Schichten vor sich.

Wir können also feststellen: Das *einfachste* Gebilde, das den Forderungen BERTALANFFYS genügt, d. h. dauernd chemische Reaktionen ausführt und trotzdem quasistationär ist, ist ein sog. eindimensionaler Kristall[1]) nach Fig. 1, d. h. ein Gebilde, das aus einer wechselnden Anzahl gleichartiger, aufeinander gepackter Moleküle (Atomgruppen) besteht, in das von außenher Diffusion erfolgt und das teilungsfähig ist.

Zweifellos sind rein physikalisch-chemische Gebilde denkbar, die diese Eigenschaften besitzen. Autokatalytisches Wachstum gibt es bei jedem Kristall, der aus der Lösung aufwächst; Diffusionsprozesse und chemische Reaktionen im Innern von Kristallen sind ebenfalls bekannt, und bei der spontanen Aufspaltung, die unter dem Einfluß geringer chemischer Veränderung im Innern vor sich gehen muß, wird man an Tautomerie-Erscheinungen wie den Übergang von der Laktol- zur Ketonform der Zucker oder an die Laktam-Laktim-Tautomerie der Polypeptidketten denken, bei welchen ebenfalls sehr leicht Valenzbrücken unterbrochen werden[1]). Allerdings kann man noch keineswegs ein spezielles Modell für die Kombination dieser Vorgänge konstruieren, weil sie an komplizierteren Kristallen oder kristallähnlichen Gebilden der organischen Chemie, um die es sich auf alle Fälle handeln muß, noch kaum systematisch studiert wurden. Z. B. wurde erst in den letzten Jahren entdeckt, daß es in Kristallen weitreichende Fortleitung von Energie gibt, die in anderen Stoffen nicht auftritt und die hier von wesentlicher Bedeutung sein wird[2]). Als wichtigstes müßte zunächst die autokatalytische Polymerisation organischer Kristalle aus wässeriger Lösung untersucht werden.

Noch ferner, aber ebenfalls nicht ausgeschlossen erscheint die Möglichkeit, ein derartiges System in vitro synthetisch herzustellen sowie zu zeigen, unter welchen Bedingungen und mit welcher Wahrscheinlichkeit es spontan aus einfacheren Stoffen sich bilden könnte. Die „Urzeugung" eines solchen Quasikristalls, der ja nur aus einigen zehn Molekülen zu bestehen braucht und der submikroskopisch klein ist, ist ja sicher ungeheuer viel wahrscheinlicher als die einer ganzen Zelle.

Die empirischen Verhältnisse entsprechen diesen zunächst rein theoretischen Überlegungen überraschend gut. Wachstums- und Teilungsfähigkeit, die beiden für unser physikalisch-chemisches quasistationäres System notwendigen Eigenschaften, sind es ja gerade, die ausnahmslos allen lebenden Organismen zukommen, also die primitivsten biologischen Eigenschaften genannt werden müssen. Bei den primitivsten biologischen Organismen, die heute bekannt sind, den Viren, sind sogar Wachstums- und Teilungsfähigkeit die einzigen Kennzeichen, die sie von der unbelebten Materie unterscheiden. Bei ihnen wurde auch ein weiteres oben theoretisch gefordertes Merkmal gefunden, der kristallähnliche Aufbau, der durch Röntgeninterferenzen[3]) sicher bewiesen ist. Von den oben theoretisch konstruierten quasistationären Gebilden unterscheiden sich die Viren dadurch, daß sie nur in der lebenden Zelle, d. h. in einer hochspezialisierten Nährflüssigkeit aufwachsen können. Die Möglichkeit ist aber nicht von der Hand zu weisen, daß es auch heute noch primitivere Organismen als die Viren gibt, die gerade wegen ihrer schwachen Spezialisierung bisher der Beobachtung entgangen sind.

[1]) D. h. ein Körper, dessen atomistischer Aufbau in einer Dimension periodisch ist. Der gewöhnliche Kristall ist in drei Dimensionen periodisch.

[1]) Vgl. A. FREY-WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas. Berlin 1938.

[2]) N. RIEHL, Naturwiss. **28**, 601 (1940).

[3]) Da dies in den diesbezüglichen Berichten nicht immer klar zum Ausdruck kommt, sei betont, daß sowohl R. W. G. WYNOFF und R. B. COREY als auch J. D. BERNAL und I. FANKUCHEN [Nature **138**, 1056 (1936); **139**, 923 (1937)] außer den für die zwischenmolekularen Abstände kennzeichnenden Interferenzen auch solche gefunden haben, die innermolekularen Abständen von etwa 20 Å entsprechen, also eine regelmäßige Unterteilung des Virusmoleküls selbst anzeigen.

So wird durch theoretische und empirische Befunde nahegelegt, daß der quasistationäre „eindimensionale Kristall" die primitivste Wurzel der lebenden Organismen ist. Da er über unbeschränkte Zeiten hinweg weit entfernt vom thermodynamischen Gleichgewicht, also reaktionsfähig ist, hat er die Fähigkeit zur Evolution, die etwa durch chemische Veränderung (Mutation) oder durch Zusammenschluß mehrerer verschiedenartiger Gebilde vor sich gehen kann. Die durch eine derartige Evolution entstandenen Organismen sind physikalisch-chemisch als System mit einer ungeheuer langen und komplizierten Vorgeschichte zu bezeichnen. Infolgedessen wird es niemals möglich sein, das Zustandekommen dieser Organismen vollständig physikalisch-chemisch zu verstehen; denn die Beschreibung des Einflusses einer Vorgeschichte macht schon in den einfachen Fällen, mit denen es die chemische Physik in dieser Hinsicht zu tun hat, die größten Schwierigkeiten. Dagegen erscheint es nicht unmöglich, die primitivsten Organismen, die noch keine Evolution hinter sich haben, ohne Zuhilfenahme spezifisch biologischer Begriffe zu verstehen.

Bei der Evolution wurde die Zweiteilung beibehalten. Daraus ist zu schließen, daß diejenigen Organellen, welche Ausgangspunkt der Mitose sind, auch die kristallähnliche Struktur und die Fähigkeit zum Wachstum beibehalten haben. In Betracht kommen hier vor allem die Gene und die Chloroplasten, denn auch die letzteren sind bekanntlich teilungsfähig.

Daß die Chlorophyllmoleküle im Chloroplasten etwa nach Fig. 1 aufeinandergepackt sind, kann heute wohl als gesichert gelten. Einerseits haben nämlich GAFFRON und WOHL[1]) durch Messung der Zeitabhängigkeit der Assimilation gezeigt, daß im Chloroplasten etwa 1000 Chlorophyllmoleküle eine dynamische geordnete Einheit bilden müssen, innerhalb welcher die aufgenommene Lichtenergie ohne Verlust zu einem einzigen CO_2-Molekül weitergeleitet wird, andererseits haben in letzter Zeit SCHEIBE und Mitarbeiter[2]) an organischen Farbstoffen gerade diese Energiefortleitung beobachtet, wobei sie eindeutig nachweisen konnten, daß hier die Farbstoffmoleküle „wie Münzen in einer Geldrolle" aufeinandergepackt sein mußten.

Schlüsse auf die submikroskopische Struktur der Gene wurden vor allem von der Mutationsforschung gezogen. TIMOFÉEFF-RESSOWSKY, ZIMMER und DELBRÜCK[3]) haben an Drosophila festgestellt, daß Genmutationen durch die thermische oder Strahlungsanregung eines einzigen Moleküls ausgelöst werden können, weiterhin, daß solche Mutationen reversibel sein können, d. h. daß in gewissen Fällen mit ungefähr der gleichen Wahrscheinlichkeit eine Rückmutation erzielt werden kann. Aus diesen Befunden wurde vielfach geschlossen, der wirksame, bei der Mutation sich ändernde Bestandteil des Gens sei ein einziges, sich nicht wiederholendes Molekül[1]). DEHLINGER und SOMMERMEYER[2]) haben demgegenüber darauf hingewiesen, daß die erwähnten Experimente kristallähnliche Gebilde aus einer nicht zu großen Zahl gleichartiger Moleküle (Atomgruppen) nicht ausschließen. Es hat sich nämlich in letzter Zeit beim Studium allotroper Umwandlungen anorganischer Kristalle, besonders von Metallen, gezeigt[3]), daß solche Umwandlungen, obwohl sie sich über den ganzen Kristall erstrecken, wie eine monomolekulare Reaktion ablaufen, d. h. durch die thermische Anregung eines einzigen Atoms ausgelöst werden können. Es bestehen dann genau die gleichen energetischen Verhältnisse wie bei den Kettenreaktionen der Gaschemie; die zur Umwandlung jeder einzelnen Atomgruppe nötige Aktivierungsenergie, die ja nach der Reaktion dieser Gruppe wieder frei wird, wird von einer zur anderen Gruppe durch den ganzen Kristall hindurch weitergeleitet. Vorbedingung für diesen Reaktionsmechanismus ist erstens eine regelmäßige Anordnung, zweitens eine dichte räumliche Aufeinanderfolge der eine Kette bildenden Atome. Auf dem Gebiet organischer Kristalle wurden bisher nur Andeutungen von Kettenreaktionen bei polymorphen Umwandlungen beobachtet[4]), eine eingehende Reaktionskinetik dieser Umwandlungen fehlt noch[5]).

Auf die Frage der Reversibilität der Mutationen muß noch genauer eingegangen werden. Die obengenannten Experimente an Drosophila haben gezeigt, daß die strahleninduzierte Mutationsrate größenordnungsmäßig gleich ist für Hin- wie für Rückmutationen, ein Befund, der äußerst wichtig

[1]) J. GAFFRON u. K. WOHL, Naturwiss. **24**, 81 (1936).
[2]) G. SCHEIBE, A. SCHÖNTAG, F. KATHEDER, Naturwiss. **27**, 499 (1939).
[3]) N. W. TIMOFÉEFF-RESSOWSKY, K. G. ZIMMER u. M. DELBRÜCK, Göttinger Nachr. 1935 — Strahlenther. **66**, 684 (1939).

[1]) Vgl. z. B. P. JORDAN, Naturwiss. **26**, 542 (1938). Es sei dazu betont, daß die Grundzüge der sog. Verstärkertheorie nicht verändert werden, wenn das Gen statt aus einem einzigen aus einer nicht zu großen Anzahl gleicher Moleküle oder Atomgruppen besteht.
[2]) U. DEHLINGER, Naturwiss. **25**, 138 (1937). — K. SOMMERMEYER u. U. DEHLINGER, Physik. Z. **40**, 67 (1939).
[3]) Vgl. U. DEHLINGER, Chemische Physik der Metalle. Leipzig 1939. Bei Kaliumdichromat: G.-M. SCHWAB u. E. SCHWAB-AGALLIDIS, Naturwiss. **29**, 134 (1941).
[4]) C. WEYGAND, Chemische Morphologie der Flüssigkeiten und Kristalle. Leipzig 1941, S. 77 unten.
[5]) Auch A. FREY-WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas, Berlin 1938, S. 183 u. 186, neigt auf Grund der polarisationsoptischen Untersuchungen von W. J. SCHMIDT, Naturwiss. **25**, 413, 509 (1938), zu der Ansicht, daß das Gen eine regelmäßige, bei der Teilung sich in der Längsrichtung spaltende Anordnung gleichartiger Moleküle ist. Er bemerkt aber nicht, daß er damit im Widerspruch zu den Experimenten von TIMOFÉEFF, ZIMMER und DELBRÜCK und zu der Erfahrung, daß die beiden Tochtergene eines mutierten Gens mutiert sind, gerät, wenn er nicht das Bestehen einer sich über das ganze Gen erstreckenden Kettenreaktion annimmt.

war, da er zeigte, daß die Mutation des Genoms nicht aus einer Folge verschiedenartiger Prozesse bestehen kann, sondern ein einfacher physikalisch-chemischer Vorgang sein muß. Zahlenmäßige Angaben über das Verhältnis der Raten von Mutationen in zwei entgegengesetzten Richtungen, die in diesem Fall chemisch durch das Mengenverhältnis von Cis- und Trans-Form eines ausgeschiedenen Gamons genau zu definieren waren, konnte vor kurzem F. Moewus[1]) an der Alge Chlamydomonas machen. Er fand, daß die beiden Mutationsraten sich durchschnittlich wie 1 : 5 verhielten, dabei kam die höhere Rate dem Übergang von Cis nach Trans zu.

Nach der Trefftheorie[2]) ist die Mutationsrate bei Bestrahlung abhängig von der Größe des empfindlichen Bereichs und außerdem von einem Empfindlichkeitsfaktor α, der angibt, welcher Bruchteil der in diesen Bereich fallenden Ionisationen eine Mutation ergibt. Den geometrischen Treffbereich und die sonstigen äußeren Verhältnisse können wir für Hin- und Rückmutationen sicher als gleich annehmen, die Größe α können wir etwa umgekehrt proportional der von außen zuzuführenden Aktivierungswärme der Reaktion setzen, die der Mutation zugrunde liegt. Sei nun n die Anzahl der gleichartigen Moleküle im Gen, A die Aktivierungswärme eines einzelnen von ihnen und E der Energieunterschied zwischen den beiden bei der Reaktion ineinander übergehenden Zuständen des Moleküls, dann ist die mittlere Aktivierungswärme des ganzen Gens in der einen Richtung $A + n/2 \cdot E$, in der entgegengesetzten $A - n/2 \cdot E$. Aus den Befunden von Moewus ist also zu schließen, daß sich diese beiden Größen wie 1 : 5 verhalten. Nun hat nach Timoféeff und Zimmer[3]) die Aktivierungswärme A die Größenordnung von 1,4 Elektronenvolt, das sind 42000 cal je Mol. Eine Durchsicht des Zahlenmaterials über Wärmetönungen bei allotropen Umwandlungen organischer Stoffe sowie über Unterschiede in den Verbrennungswärmen isomerer Moleküle[4]) ergibt, daß die Größe E für die bei Mutationen in Frage kommenden Umsetzungen, z. B. den Übergang von Cis nach Trans, durchweg etwa 1000 cal/Mol und darunter beträgt. Setzt man die Größen von A und E in die oben gefundene Beziehung ein, so folgt für n ein Wert von 56. Von dieser Größenordnung muß die Zahl der gleichartigen Moleküle in den kristallähnlichen Genen sein.

Die Wahrscheinlichkeit für das spontane Eintreten der Mutationen in den beiden Richtungen bei der absoluten Temperatur T verhalten sich nach der Boltzmannschen Formel wie

$$e^{-\frac{\left(A+\frac{n}{2}E\right)}{RT}} : e^{-\frac{\left(A-\frac{n}{2}E\right)}{RT}} = e^{-\frac{nE}{RT}} : 1 .$$

Darin ist R die Gaskonstante je Mol (wenn A und E in Cal/Mol gerechnet werden) und hat den Wert 2 cal/Mol · grad. Also ist RT für Zimmertemperatur gleich 600 cal/Mol. Wie man sieht, ergibt sich, daß die Mutationsraten in zwei Richtungen für Spontanmutationen, d. h. für Erregung durch die Temperaturbewegung, immer wesentlich stärker sich unterscheiden müssen, als wenn die gleichen Mutationen durch Bestrahlung hervorgerufen werden. Z. B. liegen die Verhältnisse bei den Mutationen von Moewus so, daß Spontanmutationen in der einen Richtung überhaupt ausgeschlossen sind. Leider scheinen unmittelbare Beobachtungen in dieser Richtung nicht vorzuliegen. Da auch wesentlich kleinere Werte von E vorkommen können, wird es selbstverständlich auch Mutationen geben, bei welchen sich die Raten der spontanen Hin- und Rückmutationen weniger stark unterscheiden als in dem Fall von Moewus. Im allgemeinen aber ist nach der Thermodynamik zu erwarten, daß die spontanen Mutationsraten in einzelnen, durch die inneren thermodynamischen Stabilitätsverhältnisse des Gens bestimmten Richtungen wesentlich höher sind als in anderen. In der Tat sind heute weite Kreise der Biologie und Paläontologie der Überzeugung, daß solche gerichteten Mutationen (Orthogenese) zur Erklärung der Evolution notwendig sind[1]).

Wie man sieht, steht die Hypothese, daß das Gen aus einer Anzahl gleichartiger Atomgruppen (Moleküle) in kristallähnlicher Anordnung besteht, in Beziehung zu einer Reihe grundlegender biologischer Fragen. Das empirische Material bestätigt die Hypothese zwar nicht mit voller Sicherheit, aber doch mit großer Wahrscheinlichkeit. Und dies bestätigt wieder die zu Anfang dargelegten Schlüsse, die zur Konstruktion eines „primitivsten Organismus" geführt haben.

[1]) F. Moewus, Biol. Zbl. **60**, 597 (1940).

[2]) Vgl. K. Sommermeyer, Z. Physik **109**, 332 (1938) — Naturwiss. **26**, 154 (1938) — Strahlenther. **68**, 655 (1940). — P. Jordan, Radiologica (Berl.) **2**, 166 (1938).

[3]) N. W. Timoféeff-Ressowsky u. K. G. Zimmer, Z. Vererbgsl. im Druck (1942).

[4]) Vgl. Landolt-Börnstein-Roth-Scheel, Erg.-Bd. 3 III, 2743, 2895.

[1]) Vgl. W. Ludwig, Naturwiss. **28**, 689 (1940).

Zur Sinnesphysiologie des Hausbockkäfers[1]).

Von Günther Becker.

Zahlreiche phytophage Insekten sind auf wenige Wirtspflanzen oder Nahrungsstoffe spezialisiert. Die Auffindung der für die Tiere selbst oder für ihre Nachkommen geeigneten Nahrung ist in den wenigsten Fällen chemisch aufgeklärt. Eine solche Untersuchung kann über die sinnesphysiologische Fragestellung hinaus dort ein besonderes praktisches Interesse erlangen, wo es sich um wichtige Schadinsekten handelt. Denn durch wirksame An-

[1]) Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Fachbereich Werkstoff-Biologie. Eingegangen den 31. Oktober 1941.

lockung oder Abstoßung der Tiere mittels bestimmter Stoffe bieten sich Wege zu ihrer Bekämpfung oder zum Schutz gegen sie.

Unter den einheimischen Holzschädlingen, deren Sinnesphysiologie bisher fast ganz unerforscht ist, hat der Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus* L.) (Fig. 1) eine besondere wirtschaftliche Bedeutung.

Fig. 1. Hausbockkäfer, ♀. Die Spitze der Legeröhre ist etwas ausgestreckt. Der abgebildete Spalt ist für die Eiablage „optimal". Aufn.: Staatl. Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Fachbereich Werkstoff-Biologie. (G. Becker.)

Die Larven (Fig. 2) zerstören den Splintteil von Nadelhölzern von der Fällung bis zu vielen Jahrzehnten nach der Verarbeitung des Holzes, vor allem in Dachkonstruktionen (Fig. 3). Die gegenwärtige Art der Holzverwendung und Bauweise

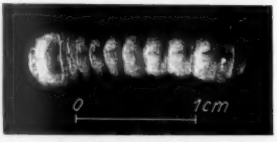


Fig. 2. Larve des Hausbockkäfers, halbwüchsig. Aufn.: wie bei Fig. 1.

begünstigt die Entwicklung des Schädlings und erhöht die Gefährdung insbesondere der Neubauten. Die Verbreitung erfolgt durch die in den Sommermonaten umherfliegenden und -laufenden Käfer. Die Eier, insgesamt bis zu 400, werden gruppenweise (Fig. 4) mittels einer lang ausstreckbaren Legeröhre (s. Fig. 1) in Spalten und Ritzen des Holzes abgelegt, von wo aus sich die jungen Larven selbständig in das Holz einbohren.

Das ausschließliche Vorkommen der Art an Nadelhölzern legte die Vermutung nahe, daß die weiblichen Käfer auf der Suche nach einem für die Eiablage geeigneten Platz durch bestimmte, den Koniferen eigene Duftstoffe angelockt werden. Als solche kommen vor allem die für die Nadelhölzer eigentümlichen ätherischen Öle in Frage. Allerdings ist die Beschränkung der Art auf Nadelholz auch ernährungsphysiologisch bedingt, denn in chemisch unveränderten Laubhölzern sterben die Hausbockkäferlarven ab (1).

Nach hinreichenden (bisher nicht veröffentlichten) Untersuchungen über den Einfluß des

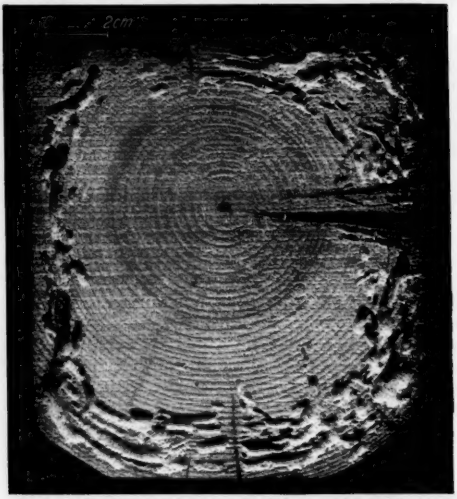


Fig. 3. Fraß der Hausbockkäferlarve im Splintholz eines Dachstuhlbalkens. Die Zerstörungen können noch größer sein. Aufn.: Staatl. Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, Fachbereich Werkstoff-Biologie.

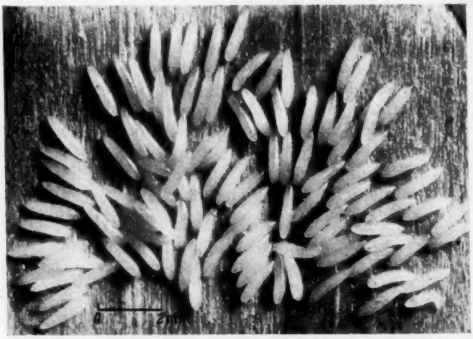


Fig. 4. Eigelege des Hausbockkäfers in einem Holzspalt. Aufn.: wie bei Fig. 1.

Licht- und vor allem des Tastsinnes der Käfer auf die Wahl des Eiablageplatzes wurden mit Hilfe eines dementsprechend ausgearbeiteten Laboratoriumverfahrens (2) verschiedene ätherische Öle aus Nadelhölzern und ihnen verwandte Stoffe auf ihren Einfluß bei der Eiablage geprüft. Auf Einzelheiten der Versuchsausführung soll bei dieser kurzen vorläufigen Mitteilung nicht näher eingegangen werden. Oberflächenbeschaffenheit des Holzes sowie Form und Breite der Spalten beein-

flussen die Eiablage sehr. Der weibliche Käfer wählt unter mehreren, in geringer Abstufung verschieden dicken Spalten nur solche, die eine Breite von 0,24—0,62 mm haben (s. Fig. 1). Angerauhtes Holz wird glatten Flächen vorgezogen. Bei der Versuchsanordnung (Fig. 5) sind neben dem Lichteinfluß vor allem also Spaltenbreite und Holzoberfläche ganz einheitlich zu gestalten. Als Bewertungsmaßstab diente die Zahl der Eigelege in den 3 Spalten zwischen Holzklötzchen, die verschieden lange Zeit zuvor mit ätherischen Ölen behandelt waren (in Fig. 5 schraffiert), im Verhältnis zu der Zahl in den 5 anderen Spalten zwischen den unbehandelten Kontrollklötzen.

Unter 15 bisher untersuchten ätherischen Ölen wurde eine die Eiablage zwingend positiv beeinflussende Wirkung bei den *Terpenen* ($C_{10}H_{16}$) *α-Pinen, β-Pinen* und (in schwächerem Maße) *d-Carven* (= d-Limonen) und nur bei diesen festgestellt. (Im Falle von l-Phellandren ist allerdings eine Nachprüfung erforderlich.) Eine Anreicherung des Holzes mit diesen Terpenen (oder einem Ölgemisch, das sie enthält, z. B. Terpentinöl) bewirkte ausnahmslos eine Ablage der Eier unmittelbar an den betreffenden Holzklötzen.

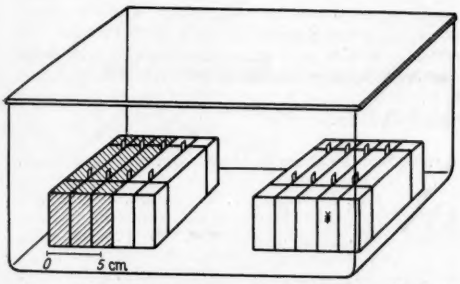


Fig. 5. Versuchsanordnung zur Prüfung des Einflusses von Riechstoffen und Holzschutzmitteln auf die Eiablage des Hausbockkäfers. (Nach G. BECKER.)

Im Falle von Pinen wurden Zeiträume nach der Behandlung von 2—32 Wochen geprüft. Sogar nach einer mehr als halbjährigen Lagerung der damit nur sehr karg gestrichenen Hölzer war der Einfluß auf die Tiere zwingend, obwohl für die menschliche Nase der Geruchsunterschied zwischen behandelten und unbehandelten Hölzern so gut wie nicht mehr wahrnehmbar war. Umgekehrt änderte ein Aufenthalt der Versuchstiere in der Nähe auch der erst 2—3 Wochen zuvor behandelten Klötzchen von 1—2 Wochen Dauer ebenfalls nichts an der ausnahmslosen Bevorzugung der mit einem der Pinene behandelten Klötze zur Eiablage. Allzu starke Konzentrationen der Stoffe wirken allerdings auf die Käfer abstoßend: Lockt man legebereite Weibchen auf einen frisch getränkten Wattebausch oder dgl. zu, so kehrt es einige Zentimeter davor spontan um. Das entspricht also ganz dem an anderen Tieren beobachteten Verhalten gegenüber Geruchs- und Geschmacksstoffen. Die Wirkung auf die männlichen Käfer wurde bisher nicht untersucht.

Alle übrigen vorläufig geprüften ätherischen Öle, vor allem sämtliche sauerstoffhaltigen Verbindungen, waren ohne Einfluß auf die Eiablage der Käfer. Es waren dies: d-Limonen, Camphen, Fenchen, Terpinolen, Terpineol, Terpinol, Cineol, Cymol, Terpinylacetat, Fenchon, Karottenöl[1]). In zwei noch nachzuprüfenden Fällen wurde eine deutliche abstoßende Wirkung auf die Eiablage beobachtet. Bei etlichen anderen Stoffen legten die Tiere die ersten Eigelege möglichst weit von den behandelten Klötzchen entfernt ab. Nach mehreren Tagen aber schien eine Abstumpfung gegen den Duft der Öle eingetreten zu sein.

Im einzelnen werden die Ergebnisse nach einigen weiteren Versuchen später veröffentlicht werden. Einige andere ätherische Öle, die bisher nicht beschafft werden konnten, sind noch zu prüfen, so z. B. besonders die im Nadelholz ebenfalls enthaltene Caren-Gruppe, Sylvestren und andere. — Schließlich sei noch bemerkt, daß es Geruchsstoffe anderer Herkunft gibt, die für den Menschen ganz anders riechen als die anlockenden Terpene, auf die Käfer aber die gleiche Wirkung zu haben scheinen.

Der bemerkenswerte Wirkungsunterschied des aus Kümmelöl gewonnenen d-Carvens zu dem chemisch gleichen, aus Pomeranzenöl hergestellten d-Limonen bedarf einer weiteren Nachprüfung.

Es gelang also, in gewissen Terpenen Riechstoffe aufzufinden, von denen die Eiablage des Hausbockkäfers im Laboratoriumsversuch zwingend beeinflußt wird. Diese Erkenntnis ermöglicht es, eine für diesen Schädling neuartige Bekämpfung zu entwickeln, indem man die weiblichen Käfer in einem Raum anlockt und zur Eiablage an einer bestimmten Stelle veranlaßt. Dadurch kann das verbaute Holz vor vielen Junglarven geschützt werden. Gegebenenfalls wäre auch ein Fang der Tiere denkbar.

Die bisher als anlockend festgestellten Stoffe sind im Falle von α- und β-Pinen wesentliche ätherische Öle, im Falle von d-Carven ein selteneres Terpen des Koniferenholzes (einschl. der Koniferenwurzeln). Diese Öle, vor allem d-Carven, kommen aber auch in anderen Pflanzenfamilien vor (z. B. Umbelliferen, Compositen u. a.).

Nicht alle in Nadelhölzern enthaltenen Öle (auch nicht alle Terpene der Koniferen) beeinflussen jedoch die Eiablage der Käfer. *Die aus den anlockend wirkenden Terpenen auf autoxydativem Wege, also auch bei der Alterung des Holzes, entstehenden Stoffe*, wie z. B. Terpineol, Camphen, Borneol, Cineol, *waren ohne Einfluß auf die Eiablage der Hausbockkäfer.* Es liegt nach diesem Ergebnis nahe anzunehmen, daß die von verschiedenen Autoren (3) nachgewiesene Abnahme der Wahrscheinlichkeit des Befalles von Gebäuden durch den Hausbockkäfer mit zunehmendem Alter

[1]) Die Ölproben wurden von der Fa. Schimmel & Co. A. G. zur Verfügung gestellt.

nicht allein ernährungsphysiologisch (1), sondern bis zu einem gewissen Grade auch sinnesphysiologisch bedingt ist. Möglicherweise trägt die bei einem der auf autoxydativem Wege entstehenden „Alterungs"-Stoffe beobachtete abstoßende Wirkung auf die Käfer dazu bei, daß älteres Holz, wenn möglich, gemieden und frisches, für das Larvenwachstum günstigeres bevorzugt wird.

Eine ökologisch bemerkenswerte Erscheinung ist, daß die Stoffgruppe der ätherischen Öle, durch deren Vorhandensein und deren Menge im Holz die Eiablage der Imagines veranlaßt wird, auf die Larven, denen die Brutfürsorge der eierlegenden Weibchen gilt, einen ungünstigen Einfluß ausübt. Obwohl die Larven über kräftige Lipase verfügen (4), wird durch eine selbst geringe Anreicherung der Nahrung mit ätherischen Ölen oder Fettstoffen die Entwicklung der Tiere gehemmt, während die Extraktion des Holzes mit öl- und fettlösenden Stoffen ihr Wachstum beschleunigt (1). Die Käfer würden bei der Eiablage also, wenn man es ihnen zur Auswahl böte, das Holz bevorzugen, das für die Entwicklung der Larven das ungünstigere ist.

Sinnesphysiologische Beobachtungen ähnlicher Art wurden auch am Mulmbockkäfer (*Ergates faber* L.) gewonnen (5), dessen Larven ebenfalls nur Nadelholz zerstören und technisch schädlich werden können. Auch hier wirkt u. a. Pinen sehr stark auf die Eiablage der Tiere — aber auch auf das Verhalten der Männchen — ein und ist sogar geeignet, den Tagesrhythmus der Käfer umzustimmen. Die am Tage versteckt lebenden und nur in der Dämmerung und des Nachts beweglichen großen Käfer erscheinen, sobald der Duft von Pinen (und einigen anderen ätherischen Ölen) sie erreicht, auch am Tage aus ihrem Versteck und schreiten mit erhobenen Fühlern und ausgestreckter und bewegter Legeröhre auf die Duftquelle zu.

Dagegen scheinen bei der Sinnesphysiologie des als Larve gleichfalls in Nadelholz lebenden Rothalsbockkäfers (*Leptura rubra* L.) andere Verhältnisse vorzuliegen als beim Hausbockkäfer. Das häufige Vorkommen besonders der Männchen dieser und anderer *Leptura*-Arten auf Umbelliferenblüten dürfte aber ebenfalls durch die Duftwirkung ätherischer Öle bedingt sein.

Vergleichende sinnesphysiologische Untersuchungen an zahlreichen Cerambyciden oder an holzzerstörenden Insekten allgemein würden wahrscheinlich auch ökologisch sehr interessante Ergebnisse liefern und günstigenfalls — wie beim Hausbockkäfer — für technisch schädliche Arten (z. B. die Ipiden u. a.) neue Wege zur Bekämpfung weisen können.

Literatur.

1. G. BECKER, Z. vergl. Physiol. **29**, 315—388 (1942). — 2. G. BECKER, Holz als Roh- und Werkstoff **4**, 7—14 (1941). — 3. O. KAUFMANN u. K. SCHUCH, Folgerungen aus der Deutschen Hausbockkäferstatistik. Berlin-Dahlem 1938. — I. TRÄGÅRDH, Z. Pflanzenkrkh. **48**, 295—302 (1938) — H. WICHMAND, Anz. Schädlingskde **17**, 21—24 (1941). — 4. E. SCHLOTTKE u. G. BECKER, Biologia generalis **1942** (im Druck). — 5. G. BECKER, Z. angew. Entomol. **28**, H. 4 (1942).

Über die Isolierung und einige Eigenschaften des Elements 93[1]).

Von FRITZ STRASSMANN und OTTO HAHN.

Bei der Bestrahlung des Urans mit sehr starken Strahlenquellen gelang es MCMILLAN und ABELSON[2]), das schon von HAHN, MEITNER und STRASSMANN vergeblich gesuchte Folgeprodukt des von ihnen zuerst nachgewiesenen Urans von 23 Minuten Halbwertszeit zu finden und mit dem bereits früher von SEGRÈ festgestellten Körper von 2,3 Tagen Halbwertszeit zu identifizieren.

Auf einem ganz anderen Wege als MCMILLAN und ABELSON hat K. STARKE den 2,3Tage-Körper vom gewöhnlichen Uran getrennt. Unter Verwendung einer organischen Uranverbindung (Uranylbenzoylacetonat) konnte STARKE durch eine Szilard-Chalmers-Trennung das 23 Minuten-Uran-Isotop sehr stark angereichert erhalten. Zugleich schied er dabei den 2,3 Tage-Körper in gut nachweisbarer Intensität ab[3]).

Die in der kurzen Veröffentlichung von MCMILLAN und ABELSON gemachten Angaben über die Ausbeute an Element 93 schienen teilweise unseren eigenen früheren Messungen über die Ausbeute an der Muttersubstanz, dem 23 Minuten-Uran, zu widersprechen. Bei dem großen Interesse, das die Entstehung und die Eigenschaften des Elements 93 für den Kernphysiker und Chemiker beanspruchen dürfen, und bei der Bedeutung, welche die quantitative Erfassung des Entstehungsprozesses für die Uranspaltung besitzt, schien eine genauere Nachprüfung der Angaben der amerikanischen Forscher geboten. Darüber hinaus sollte versucht werden, die quantitative Bestimmung des Elements 93 durchzuführen.

MCMILLAN und ABELSON schließen auf Grund ihrer Versuche, daß die chemischen Eigenschaften des Elements 93 sich von den für ein Eka-Rhenium zu erwartenden erheblich unterscheiden, dagegen aber den Eigenschaften des Urans so ähnlich sind, daß sie die bereits früher von anderer Seite[1]) geäußerte Ansicht, daß beim Uran eine Gruppe von sehr ähnlichen Elementen beginnen könnte, für bestätigt halten. In Anlehnung an den von V. M. GOLDSCHMIDT geprägten Ausdruck „Lanthanide" könnte man hier also von „Uraniden" sprechen.

Schon die ersten orientierenden Versuche, die wir nach den Angaben MCMILLANS und ABELSONS ausführten, schienen einzelnen der amerikanischen Angaben zu widersprechen. So gelang es z. B. nicht, bei den Messungen von 23 Minuten-Uran als Uranylnatriumacetat im 100 μ-Zählrohr die Anwesenheit von Element 93 nachzuweisen, obwohl ein Nachweis durch

[1]) Eingegangen den 2. April 1942.

[2]) E. MCMILLAN u. PH. H. ABELSON, Phys. Rev. **57**, 1185 (1940).

[3]) K. STARKE, Naturwiss. **30**, 107 (1942).

[1]) V. M. GOLDSCHMIDT, Fortschr. Mineral. u. Petrogr. **15**, 93 (1931); s. a. N. BOHR u. D. COSTER, Z. Physik **12**, 342 (1922); R. SWINNE, Z. Techn. Phys. **7**, 166 u. 205 (1926).

100 μ Aluminium trotz der Weichheit der Strahlung noch möglich sein mußte.

Immerhin war eine so starke Schwächung der Intensität durch 100 μ Aluminium zu erwarten, daß für diese Untersuchung die Benutzung eines möglichst dünnwandigen Zählrohrs erwünscht schien. Die nachstehend skizzierte Anordnung hat sich für unsere Zwecke sehr gut bewährt.

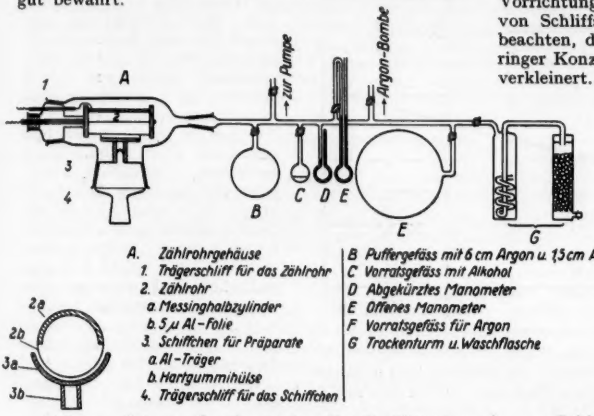


Fig. 1. Schema der Apparatur für die Messungen im 5 μ-Zähler.

Das Zählrohrgehäuse A ist ein Rohr aus Thüringer Glas von etwa 5 cm lichter Weite, das einen möglichst geringen Kaliumgehalt besitzt. Das eine Ende des Rohres ist durch den Trägerschliff *1* verschlossen, der mit zwei Durchbohrungen für die Zählrohrzuleitungen versehen ist. Die zentrale Durchbohrung hat etwa 1 cm lichte Weite und trägt an Kopf und Boden des Schliffes je einen Rohransatz von einigen Zentimetern Länge. Auf den in das Gehäuse A hineinragenden Rohransatz ist das Zählrohr *2* aufgekittet. Das Zählrohr besteht aus einem Halbzylinder *2a* aus Messing, der die beiden Hartgummistopfen trägt. Über den starkwandigen Halbzylinder wird eine Aluminiumfolie von 5 μ Dicke gelegt und auf dem Messing festgekittet. Als Zähldraht dient ein Platindraht. Einer der Hartgummistopfen ist mehrfach durchbohrt, damit die dünne Aluminiumfolie durch die Druckänderung beim Auswechseln der Präparate nicht zerstört wird. In den äußeren Rohransatz des Trägerschliffes *1* ist ein durchbohrter Kork gepreßt, so daß bis zum Rande des Rohransatzes noch eine Strecke von etwa 5 mm frei bleibt. Durch die Bohrung des Korkes führt ein Glasrohr von einigen Millimetern lichter Weite, das mit Siegellack ausgegossen ist und die Zuführungsleitung für den Zähldraht trägt. Das Ende des Rohransatzes wird dann mit Siegellack ausgegossen und auf diese Weise vakuumdicht abgeschlossen. Die zum Zählrohrmantel führende Erdleitung wird in ähnlicher Weise durch die zweite nur wenige Millimeter starke Bohrung des Trägerschliffes geführt und abgedichtet. Bei der Messung wird das Präparat mit etwas Klebwachs auf dem Schiffchen *3* befestigt und die Hartgummihülse *3b* des Schiffchens auf den Zapfen des Trägerschliffes *4* gesteckt; nach dem Einsetzen des Schliffes wird durch abwechselndes Auspumpen des Gefäßes A und Spülen mit Argon aus dem Gefäß F die Luft aus A entfernt. Dann wird das Gefäß A mit Alkoholdampf von 1,5 cm und Argon von etwa 6 cm Druck gefüllt. Während der Dauer der Messung wird das mit dem gleichen Gasgemisch gefüllte große Puffervolumen B mit dem Zählrohrgefäß A verbunden, um Störungen durch Undichtigkeiten oder Druckschwankungen möglichst gering zu halten.

Beim Auswechseln der Präparate füllt man die Apparatur zunächst durch die Flaschen G mit trockener reiner Luft von Atmosphärendruck und öffnet dann den Trägerschliff *4*, evtl. mit Hilfe einer einfachen Vorrichtung, wie sie in ähnlicher Weise zum Öffnen von Schliffstöpselflaschen benutzt werden. Es ist zu beachten, daß Luft (Sauerstoff) schon in relativ geringer Konzentration die Impulse in störender Weise verkleinert. Während des Auspumpens darf die Hochspannung natürlich nicht am Zählrohr liegen. Die Füllung der Gefäße A und B wird mit dem Manometer D, die Füllung und der Argondruck des Vorratsgefäßes F wird mit dem offenen Manometer E kontrolliert. Für die Auswertung der Messungen ist zu beachten, daß bei Gegenwart α-strahlender Substanzen die α-Strahlen durch geeignete Folien absorbiert werden müssen.

Wie bereits erwähnt, hätte man das Element 93 aber auch schon im 100 μ-Zähler nachweisen können müssen; deshalb wurden die Versuche zur Abscheidung von Element 93 mit Uranylnatriumacetat nunmehr bei Gegenwart starker Oxydationsmittel vorgenommen. Auf diesem Wege gelang es tatsächlich, den gesuchten 2,3 Tage-Körper in gut meßbarer Intensität zusammen mit seiner Muttersubstanz, dem Uran von 23 Minuten Halbwertszeit, abzuscheiden. Dabei ist zu bemerken, daß diese Abscheidungsart gleichzeitig eine ausgezeichnete Abtrennung von den Spaltprodukten, ihren Folgekörpern und von dem sehr störenden UX liefert. Als Oxydationsmittel hat sich ganz besonders gut Bromat in salpetersaurer Lösung bewährt, worauf schon McMILLAN und ABELSON hingewiesen haben.

Eine eigentliche Anreicherung im Sinne einer verschiedenen Löslichkeit der Mischkristalle bildenden Verbindungen, wie sie z. B. zur Trennung des Radiums vom Barium benutzt wird, konnte bei den das Element 93 enthaltenden Uranylnatriumacetat-Niederschlägen nicht beobachtet werden. Bei einer Reihe entsprechender Versuche, bei denen aus einer Uranlösung, die das Element 93 im oxydierten Zustand enthielt, fraktioniert Uranylnatriumacetat gefällt wurde, war das Abscheidungsverhältnis angenähert 1, was ja kristallographisch für eine starke Ähnlichkeit mit dem Uran spricht. Auch eine Reihe weiterer Reaktionen hat das Element 93 mit dem Uran gemeinsam, wie später noch gezeigt wird; doch existieren auch eine Reihe charakteristischer Unterschiede.

Bei den ersten Versuchen zur Herstellung des reinen Elements 93 hielten wir uns an die Angaben von McMILLAN und ABELSON. Eine direkte Abscheidung des reduzierten 2,3 Tage-Körpers von dem Uran, zusammen mit Lanthanfluorid oder Cerfluorid erwies sich jedoch als völlig ungeeignet, da einerseits die relativ geringe Intensität der Strahlenquellen die Verwendung größerer Uranmengen erforderte, andererseits die Weichheit der Strahlung des Elements 93 dessen Abscheidung mit möglichst wenig Trägersubstanz wünschenswert erscheinen läßt. Aus einer schwach sauren Lösung von einigen Gramm Uran lassen sich jedoch einige Milligramm Lanthan oder Cer nicht mehr als Fluoride fällen. Der Umstand, daß McMILLAN und ABELSON

dieses Verfahren mit Erfolg zur quantitativen Trennung und Bestimmung anwenden konnten, kann nur durch die außergewöhnlich große Intensität der amerikanischen Strahlenquellen erklärt werden, die künstliche Intensitäten erzeugen, denen gegenüber die natürliche

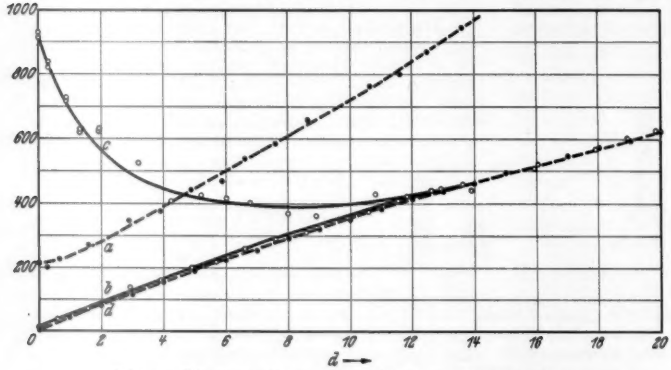


Fig. 2. Messung des 2,3 Tage-Körpers (Element 93) durch verschieden dicke Al-Folien
a = Probe 1 im 100 μ-Zähler | *c* = Probe 2 ($^1/_2$ Probe 1) im 5 μ-Zähler
b = Probe 1 im 100 μ-Zähler + 500 μ-Al | *d* = theor. Zunahme von UX für Prob. 2.

Aktivität des Urans und seiner Folgeprodukte „verschwindend klein" ist, so daß nur sehr geringe Mengen Uran bestrahlt zu werden brauchen.

Auf Grund der von MCMILLAN und ABELSON gemachten Angaben, daß das Element 93 in seinen Reak-

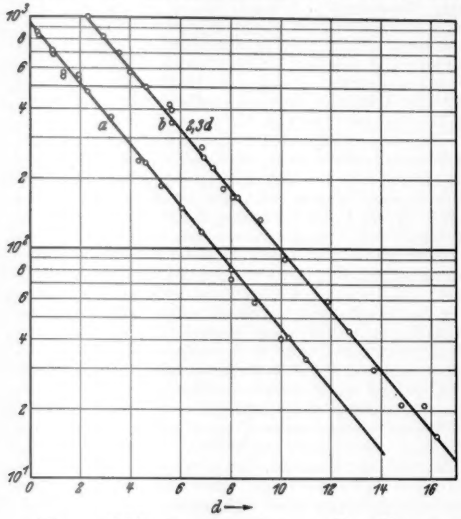


Fig. 3. Abklingung des reinen 2,3 Tage-Körpers (Element 93).

tionen in oxydiertem Zustand dem Uran (VI), im reduzierten Zustande dem Thorium (IV) ähnlich ist, wurde daher nach der Fällung der Hauptmenge des Urans zunächst eine Anreicherung im restlichen Uran und dann erst eine Trennung vom Uran durchgeführt. Die Lösung des bestrahlten Urans wurde in der Wärme mit Schwefeldioxyd behandelt und dann mit Natriumacetat gefällt. Der Hauptteil des Urans fällt als Uranylnatriumacetat aus. Im Filtrat bleiben außer geringen Uranmengen alle Spaltprodukte, das Element 93, das gesamte UX und große Mengen von Neutralsalzen. Durch eine Fällung mit karbonatfreiem Ammoniak werden die Reste von Uran mit dem UX, dem Element 93 und einem Teil der Spaltprodukte abgeschieden, in starker Salpetersäure gelöst und durch Kochen mit Kaliumbromat oxydiert, so daß das Element 93 nunmehr in seinen Reaktionen dem Uran ähnlich ist. Nach beendeter Oxydation wird jetzt der Rest des Urans zugleich mit dem Element 93 durch eine Fällung von Uranylnatriumacetat abgeschieden und dadurch vom UX und den restlichen Spaltprodukten getrennt. Bei einmaliger Umfällung des Uranylnatriumacetats ist die Trennung so vollständig, daß nach Zerfall des 23 Minuten-Urans im 100 μ-Zähler anfänglich nur die weiche β-Strahlung des Elements 93, bei sehr starken Präparaten auch seine γ-Strahlung festgestellt werden konnte.

Die Fällung des Urans als Uranylnatriumacetat erfolgt zwar nicht völlig quantitativ, doch können leicht 90—95% oder mehr abgeschieden werden. Eine Reihe von Fraktionierungsversuchen mit reinem Element 93 und Uran zeigte, daß das Verteilungsverhältnis, wie bereits erwähnt, ungefähr 1 ist, d. h. aber, daß mit 90—95% Uran ein vergleichbarer prozentischer Anteil an Element 93 auch dann abgeschieden wird, wenn die 90—95% Uran gewichtsmäßig nur wenige Milligramm betragen (Fig. 2). Fig. 2 zeigt den Aktivitätsverlauf zweier Präparate der gleichen Fällung. Die Gewichtsmengen verhalten sich ungefähr wie 1 : 2, und die Messungen erfolgten im 5 μ-Zähler und 100 μ-Zähler, durch je 50 μ Cellophan, um die α-Strahlen des Urans abzudecken. Kurve *a* gibt den Aktivitätsverlauf im 100 μ-Zähler. Die Anwesenheit von Element 93 macht sich in einer anfänglichen Verzögerung der UX-Zunahme bemerkbar. Durch Abdecken mit 500 μ Aluminium wird die Strahlung des Elements 93 vollständig unterdrückt, und es bleibt nur noch der Anstieg der Aktivität durch Nachbildung des UX (Kurve *b*). Ein nur halb so starkes Präparat, das im 5 μ-Zähler gemessen wurde, gibt in Kurve *c* einen starken, durch mehrere Halbwertszeiten gemessenen Abfall, der erst nach 10 Tagen langsam in die UX-Zunahme übergeht. Aus dem nach 21 Tagen gemessenen Aktivitätswert, der praktisch nur noch der UX-Aktivität entspricht, ist der Verlauf der Anstiegskurve des UX errechnet und in Kurve *d* wiedergegeben. Die Differenz der Kurven *c*—*d* ist in Fig. 3 im logarithmischen Maßstab dargestellt und entspricht dem Abfall des Elements 93.

Aus einem derartig angereicherten Präparat wurde zur Reindarstellung das Element 93 gemeinsam mit einigen Milligramm Lanthan nach vorheriger Reduktion mit Schwefeldioxyd aus schwach salpetersaurer Lösung durch Flußsäure gefällt. Die Fluoride enthalten dann außer dem Element 93 noch die der kleinen Menge vorher anwesenden Urans entsprechende nachgebildete Aktivi-

tät von UX. Durch Abrauchen des Fluoridniederschlags mit Schwefelsäure, Fällen und Umfällen der Sulfate mit karbonatfreiem Ammoniak wurden Anionen, die bei der weiteren Trennung stören konnten, entfernt; dann wurde der Niederschlag der Oxydhydrate in Salpetersäure gelöst, mit einigen Milligramm Zirkon versetzt und, nach erfolgter Oxydation mit Kaliumbromat, mit Subphosphat versetzt. Die Reste von UX fallen gemeinsam mit dem Zirkonsubphosphat aus. Das Element 93 bleibt in Lösung. Den Überschuß an Subphosphat im Filtrat entfernt man durch tropfenweise Fällung mit Zirkonlösung. Das Filtrat enthält das reine Element 93 gemeinsam mit wenigen Milligramm Lanthan und Zirkon und kann nunmehr für die Versuche zur Prüfung der chemischen oder kernphysikalischen Eigenschaften benutzt werden.

Diese Verarbeitung ist umständlich und zeitraubend; die Trennung vom Uran und die gemeinsame Abscheidung mit dem Lanthanfluorid ist nur vollständig, wenn die dazu erforderlichen geringen Säurekonzentrationen genau eingehalten werden. Aus diesem Grunde wurde versucht, eine bessere und schnellere Abtrennungsmethode aufzufinden.

Da die meisten Gruppenreagenzien nur graduelle Unterschiede des Elements 93 vom Uran bzw. vom Thorium erkennen ließen, wurde das Verhalten gegen organische Fällungsmittel untersucht. Die besten Ergebnisse wurden bisher mit dem 8-Oxychinolin (Oxin) erzielt, das sowohl für die quantitative Fällung von Uran wie auch von Thorium benutzt werden kann. Das Element 93 dagegen fällt aus den entsprechend vorbereiteten Lösungen durch Oxin nicht aus. Da die Oxinfällung des Urans aber nicht gleichzeitig auch sämtliche Spaltprodukte entfernt, ist folgender Arbeitsgang zu empfehlen. Aus der mit Schwefeldioxyd reduzierten Uranlösung wird die Hauptmenge des Urans als Uranylnatriumacetat völlig frei von Element 93 gefällt. Im Filtrat wird der geringe Rest von Uran mit dem gesamten Element 93, dem UX und einem Teil der Spaltprodukte durch Fällung mit Ammoniak von der großen Menge der Neutralsalze abgetrennt und mit Salpetersäure und Kaliumbromat oxydiert. Durch möglichst vollständige Fällung des Urans mit Natriumacetat werden Uran *und* das Element 93 von den restlichen Spaltprodukten und vom Hauptteil des UX getrennt. Die geringen Mengen Uran und UX werden aus schwach essigsaurer Lösung mit Oxin gefällt. Element 93 bleibt quantitativ in Lösung. Das Filtrat wird durch Ammoniak schwach ammoniakalisch gehalten und durch anhaltendes Kochen von Oxin befreit. Die Entfernung des Oxins muß vollständig erfolgen, da sonst das Element 93 mit den üblichen Fällungsmitteln nicht mehr quantitativ ausfällt. Aus der von Oxin befreiten Lösung kann das Element 93 nunmehr vollständig durch eine Ammoniakfällung gemeinsam mit wenigen Milligramm Eisen, Zirkon od. dgl. abgeschieden werden.

Die Abklingungskurve eines so hergestellten Präparates ist in Fig. 3, Kurve *b*, wiedergegeben.

Diese Methode wurde bisher für die Herstellung des Elements 93 benutzt. Die sehr reinen Lösungen von Element 93 erlaubten nun die Untersuchung auch anderer chemischer Eigenschaften des Elements 93.

Im folgenden bringen wir einige analytische Eigenschaften des Elements 93, vor allem auch im Vergleich mit denen des 6-wertigen Urans und des 4-wertigen Thoriums, wobei wir von der Tatsache Gebrauch machen, daß das 4-wertige Thorium in seinen Reaktionen denen des 4-wertigen Urans weitgehend ähnelt. *Sind die Eigenschaften des Elements 93 denen des Urans so ähnlich wie etwa die der seltenen Erden untereinander, dann wird das Element 93 im oxydierten Zustand sich wie das 6-wertige Uran, im reduzierten Zustand wie das 4-wertige Thorium verhalten.* Es ist aber bei allen Reaktionen zu bedenken, daß charakteristische Unterschiede im chemischen Verhalten zwischen dem gewichtslosen Element 93 und dem gewählten Trägerelement nur dann sicher erkannt werden, wenn bei der betreffenden Fällung des Trägerelements das Element 93 in Lösung bleibt, weil bei einer partiellen Mitfällung immer mit Adsorptionsvorgängen grechnet werden muß.

1. Bei der Fällung beliebiger Trägersubstanzen mit Schwefelwasserstoff aus essigsaurer oder mineralsaurer Lösung (bis zu 37% HCl bzw. 65% H_2SO_4) bleibt das Element 93 unabhängig von seiner Oxydationsstufe immer im Filtrat. Dadurch unterscheidet sich das Element 93 offenbar stark von den zu erwartenden Eigenschaften eines Eka-Rheniums.

2. Durch Ammoniak wird das Element 93 im oxydierten und reduzierten Zustand in Übereinstimmung mit Uran und Thor bei Gegenwart geeigneter Träger vollständig gefällt. Dieser Gruppenfällung folgen auch eine große Anzahl anderer Elemente. Aus der salzsauren Lösung des Niederschlags wird mittels Natronlauge im Überschuß bei Gegenwart von Aluminium, Chrom und Zink, die mit Natronlauge in Lösung gehen, das Element 93 z. B. mit Eisen quantitativ gefällt (Übereinstimmung mit Uran und Thorium).

Aus der schwach salzsauren Lösung wird das Element 93 durch Oxalsäure oder Ammoniumoxalat nur sehr unvollständig gefällt, unabhängig von seiner Wertigkeitsstufe. Die nur kleine und wechselnde Menge in der Fällung spricht für eine Adsorption und läßt vermuten, daß wägbare Mengen des Elements 93 bei dieser Reaktion völlig gelöst bleiben würden (Unterschied zu Thorium, 4-wertigem Uran und den seltenen Erden).

Aus der schwach salzsauren Lösung fällt das Element 93 bei der Fällung von Lanthan mit Kaliumsulfat, unabhängig von der Wertigkeitsstufe, mit dem Lanthan nicht aus (im Gegensatz zu Thorium und 4-wertigem Uran und im Gegensatz zu den Angaben von McMILLAN und ABELSON).

Aus schwach saurer Lösung wird das Element 93 bei Gegenwart von Yttrium, Lanthan und Cer auf Zusatz von Weinsäure und Ammoniak im Gegensatz zum Yttrium nur zu etwa 40% ausgefällt bei gleichzeitiger Gegenwart von Uran nur zu 10—20%. Auch hier sieht es so aus, als ob es sich dabei lediglich um eine Adsorption handelt.

Aus schwach saurer Lösung fällt das Element 93 bei Gegenwart von Lanthan und Cer durch Kochen mit Natriumacetat und Wasserstoffsuperoxyd vollständig aus, in Übereinstimmung mit Thor und Cer.

Aus schwach saurer Lösung wird das Element 93 durch Ammoniak und Ammoniumkarbonat in Abhängigkeit von der Trägersubstanz und den gleichzeitig anwesenden Lösungspartnern im Gegensatz zu Uran, Thorium und Zirkon in stark wechselnden Mengen ausgefällt. Offenbar handelt es sich hier um eine Adsorption der gewichtslosen Menge des Elements 93, etwa wie bei der Adsorption des Thorisotops UX an Eisen unter gleichen Bedingungen.

Aus einer stark salpetersauren bromathaltigen Lösung fällt das Element 93 im oxydierten Zustand bei Gegenwart von Uran nach Zusatz von Natriumacetat mit dem Uran als Uranylnatriumacetat aus (Übereinstimmung mit Uran).

Im reduzierten Zustand wird Element 93 bei dieser Fällung quantitativ vom ausfallenden Uran getrennt (Übereinstimmung mit Thorium).

Aus schwach essigsaurer Lösung wird das Element 93 im oxydierten und reduzierten Zustand bei der quantitativen Fällung von Uran oder Thorium mit Oxin im Gegensatz zu diesen Elementen nicht gefällt.

Aus stark salzsaurer Lösung wird das Element 93 auch im reduzierten Zustand bei der quantitativen Fällung des Zirkons mit Natriumsubphosphat im starken Gegensatz zu auch unwägbaren Mengen Thorium (UX) nur zu etwa 50% adsorbiert.

Aus salzsauren Lösungen fällt das Element 93 im Gegensatz zu Zirkon und auch Thorium durch Phosphorsäure nur sehr unvollständig aus.

Auf Zusatz von Flußsäure zur sehr schwach sauren Lösung fällt das Element 93 mit Thorium oder seltenen Erden als Träger nur im reduzierten Zustand, dann allerdings vollständig, im Gegensatz zu Titan, Niob und Tantal, die in Lösung bleiben (Übereinstimmung mit Thorium und 4-wertigem Uran).

3. Durch Ammoniumsulfid wird das Element 93 gefällt, aber vermutlich nur auf Grund der alkalischen Eigenschaften der Lösung.

4. Durch Ammoniumkarbonat wird das Element 93 bei Gegenwart von Calcium, Strontium oder Barium auch im oxydierten Zustand vollständig gefällt, auch bei Gegenwart von Uran; durch Umfällung läßt es sich nicht daraus abtrennen (Gegensatz zum Uran und zu den Angaben von McMillan und Abelson). Allerdings fällt mit den Erdalkalikarbonaten auch Thorium zu erheblichem Betrage aus, wenn es in unwägbarer Menge vorhanden ist.

In Übereinstimmung mit McMillan und Abelson läßt sich das Element 93 im Gegensatz zum Uran sehr leicht schon durch Schwefeldioxyd in den reduzierten Zustand überführen und darin erhalten.

Zusammenfassung.

1. Es wird eine Methode zur praktisch quantitativen Trennung des Elements 93 vom Uran, Uran X und allen Spaltprodukten beschrieben.

2. Es werden eine Reihe chemischer Eigenschaften des Elements 93 angegeben.

3. Aus einigen der Eigenschaften zeigt es sich, daß die Unterschiede zwischen dem Element 93 und dem Uran erheblich größer sind als etwa die zwischen den am leichtesten trennbaren seltenen Erden Lanthan und Cer.

4. Die Entscheidung darüber, ob es sich bei dem Element 93 um ein eigentliches Eka-Rhenium oder um ein „Uranid" handelt, kann deshalb bisher nicht getroffen werden.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Simultane Störungen auf der Sonne, im Erdmagnetismus und in der Ionosphäre.

Die chromosphärischen Eruptionen auf der Sonne sind sehr reich an kurzwelligem UV (vorwiegend $L\alpha$-Strahlung, 1216 Å), welches zwischen 60 und 90 km Höhe die D-Schicht der Ionosphäre erzeugt; in dieser werden die Kurzwellen sehr stark gedämpft, so daß der Kurzwellenempfang während der Dauer einer Eruption aussetzt. Gelegentlich zeigen

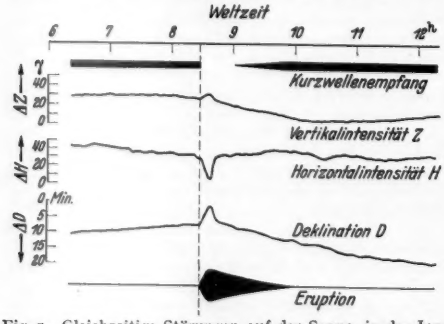


Fig. 1. Gleichzeitige Störungen auf der Sonne, in der Ionosphäre und im Erdmagnetismus am 17. September 1941.

auch die Magnetogramme während großer Eruptionen zwar nur kleine, aber charakteristische Störungen. Der Vektor dieser Störung stimmt nach Richtung mit demjenigen der tageszeitlichen Variation überein[1]). Dieser Effekt ist in den letzten Jahren hoher Sonnenaktivität auf Tropenstationen mehrfach registriert worden. In unseren Breiten dagegen wird er nur sehr selten beobachtet; nach dem klassischen Fall vom 1. September 1859[2]) sind nur zwei weitere Beispiele bekanntgeworden. Deshalb mag es von Interesse sein, auf die neuliche Beobachtung dieses Effektes am 17. September 1941 hinzuweisen. Fig. 1 zeigt zuoberst in schematischer Darstellung den Kurzwellenempfang; dieser wurde um 8.27 Uhr Weltzeit plötzlich unterbrochen. Erst von 9 Uhr an setzte der Empfang nach und nach wieder ein (Mitteilung von Herrn Oberpostrat Dr. F. Vilbig, Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost). Auf allen 3 erdmagnetischen Registrierkurven setzt 8.27 Uhr eine Störung ein, die 8.37 Uhr ihr Maximum erreicht und etwa 8.45 Uhr beendet ist. Die Vertikalintensität nahm um 7 γ zu, die Horizontalintensität um 24 γ ab und die westliche Deklination um 6 Minuten zu (die Registrierungen wurden auf dem Magnetischen Observatorium Regensberg der Schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt aufgenommen und von Herrn Dr. E. Wanner zur Verfügung gestellt). Zuunterst zeigt die Figur den Verlauf der solaren Eruption, deren Intensität durch die Breite des Bandes veranschaulicht wird. Beginn und Maximum der Eruption sind zwar nicht beobachtet worden, doch weiß man aus vielen Einzelfällen, daß der Kurzwellenschwund und die Eruption in derselben Minute einsetzen[3]) und daß große Eruptionen ihr Maximum etwa 10 Minuten nach ihrer Entstehung erreichen. In Zürich konnte nur die Endphase der Eruption beobachtet werden (Beobachter Herr Dr. W. Brunner-Hagger); da sie noch um 9 Uhr als von sehr großer Intensität klassifiziert wurde, muß sie in ihrer maximalen Phase von ganz außergewöhnlicher Helligkeit und Größe gewesen sein, und es ist nicht ausgeschlossen, daß sie wie die einzigartige von Carrington und Hodgson beobachtete im spektral unzerlegten Licht hätte gesehen werden können.

Abschließend sei erwähnt, daß die Eruption, die nahe dem Zentrum der Sonnenscheibe auftrat, als Quelle einer intensiven Korpuskularstrahlung zu betrachten ist, die 20 Stunden 29 Minuten nach dem Beginn der Eruption die Erde erreichte und am 18./19. September einen großen magnetischen Sturm, begleitet von ausgedehnten Polarlichterscheinungen, verursachte.

Arosa (Schweiz), Observatorium der Eidgenössischen Sternwarte Zürich, den 1. Februar 1942.

M. Waldmeier.

[1]) A. G. McNish, Terr. Mag. **42**, 109 (1937).
[2]) J. Bartels, Terr. Mag. **42**, 235 (1937).
[3]) M. Waldmeier, Z. Astrophysik **14**, 229 (1937).

Die endogene Atmung der Bäckerhefe.

Die normale endogene Atmung bei der Fabrikation stark gelüfteter Bäckerhefe (Rotebro D5) besteht aus 2 Komponenten[1]): Der eine Anteil (MA) folgt einem monomolekularen Verlauf und klingt infolge des Substratverbrauchs im Laufe von 2—3 Stunden (Versuchstemp. 30° C) fast vollständig ab. Der andere Anteil (KA) dauert mehrere

Tage an, wobei die Intensität eine verhältnismäßig nur geringe Verminderung aufweist. Die Verhältnisse sind aus Fig. 1 zu ersehen.

Der begrenzende Faktor der MA ist die Zufuhr von Substrat. Bei der KA ist es eine Enzymmenge oder, wenn die die KA begrenzende Reaktion nicht enzymatischer Natur ist, ein rein physikalischer, unter den gegebenen Züchtungsbedingungen von der Substratzufuhr im großen und ganzen unabhängiger Prozeß.

Der RQ der endogenen Atmung ist annähernd gleich 1[2, 3, 4]). Das verbrannte Material besitzt also Kohlehydratnatur.

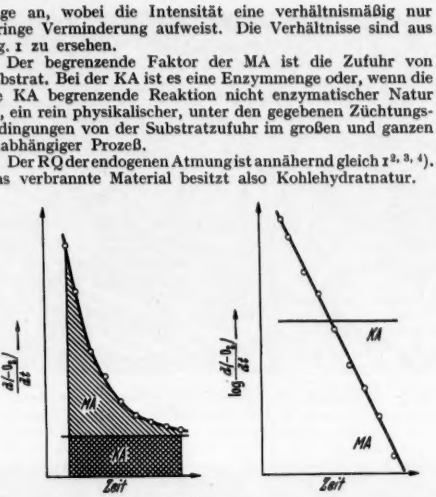
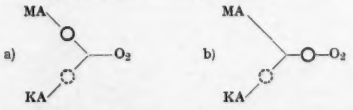


Fig. 1.

Da das Cytochromsystem den beiden Atmungsanteilen gemeinsam ist (s. unten), so sollte der Atmungsverlauf durch eines der beiden folgenden Schemata dargestellt werden können. Die prinzipielle Lage der begrenzenden Reaktion ist für die MA durch einen ausgezogenen Kreis, für die KA durch einen gestrichelten Kreis angegeben.



Die kinetischen Verhältnisse der begrenzenden Reaktion einer unverzweigten Reaktionskette sind bereits grundsätzlich ermittelt[5]). Bei verzweigten Ketten liegen die Verhältnisse jedoch anders[6]).

Wenn die Konzentrationen der Substrate der MA und KA im Zeitpunkt t mit c_1 und c_2 und die Geschwindigkeitskonstanten der entsprechenden begrenzenden Reaktionen mit λ_1 und λ_2 bezeichnet werden und man ferner annimmt, daß die Fraktion x_0 des Atmungsfermentes in reduzierter Form vorliegt (die übrigen Zwischenreaktionen verlaufen mit so großer Geschwindigkeit, daß sie außer acht gelassen werden können), so gilt:

$$\frac{dc_1}{dt} = -\lambda_1(1-x_0)c_1 \quad \text{und} \quad \frac{dc_2}{dt} = -\lambda_2(1-x_0)c_2.$$

Der gesamte Sauerstoffverbrauch R wird nun im Fall a:

$$R = (1-x_0)(\lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2).$$

Die Voraussetzung $x_0 \sim 0$ kann als gegeben angenommen werden, denn der Umsatz in reinem Sauerstoff ist nur um wenige Prozent höher als in Luft. Nach Integrieren ergibt sich:

$$c_1 = c_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad \text{und} \quad c_2 = c_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

(c_1^0 und c_2^0 bezeichnen die Initialkonzentrationen), sowie

$$R = \lambda_1 c_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 c_2^0 e^{-\lambda_2 t}.$$

KA nimmt nur sehr langsam ab, folglich ist $\lambda_2 \ll \lambda_1$. Da aber KA und MA von etwa gleicher Größenordnung sind, so ist ein kleiner Wert von λ_2 nur mit einem großen Wert von c_2^0 vereinbar, d. h. das Substrat der KA liegt in großem Überschuß vor. Unter diesen Voraussetzungen, die durch die experimentellen Resultate vollkommen bestätigt werden, beschreibt die letztgenannte Formel eine Atmung, die die Summe eines ausgeprägt monomolekular verlaufenden und eines mit der Zeit relativ konstanten Anteils darstellt.

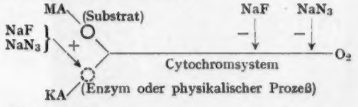
Wird die obige Ableitung für den Fall $x_0 \doteq 0$ gemacht, so ergeben sich Ausdrücke, deren Gültigkeit durch Versuche bei vermindertem Sauerstoffdruck geprüft werden wird.

Der Fall b ist unwahrscheinlich. In der Reaktionskette der KA kann nach diesem Schema nur eine gewisse Fraktion des Substrats, das die erste begrenzende Reaktion durchlaufen hat, ebenfalls von der zweiten umgesetzt werden. Dies würde eine Substratanhäufung vor der zweiten (die MA) begrenzenden Reaktion und demzufolge eine sukzessive Erhöhung des von dieser Reaktion gesteuerten Umsatzes bedingen, was nicht mit den Versuchsresultaten in Einklang zu bringen ist.

Unter der Einwirkung von niedrigen NaF-Konzentrationen (0—20 mmol.) wird die endogene Atmung sehr verstärkt[1]). 60 Minuten nach dem Fluoridzusatz (16—20 mmol.) ist die Atmung 2—2,5 mal größer als bei den fluoridfreien Kontrollansätzen. Diese Wirkung scheint durch einen Eingriff in die Reaktionskette der KA (Enzymmobilisierung?) bedingt zu sein. Bei höheren Fluoridkonzentrationen — ein Enzymmolekül erfordert mehrere Fluoridmoleküle[7]) — tritt schnell eine kräftige Atmungshemmung[1]) ein, die MA und KA in gleichem Maße trifft. Der Angriffspunkt befindet sich[8,9]) in dem somit beiden Atmungsanteilen gemeinsamen Cytochromsystem und konnte bei späteren Untersuchungen in dem Gebiet des Cytochrom C lokalisiert werden[4]). Die Hemmung ist auch bei sehr hohen Fluoridkonzentrationen (160 mmol.) keine vollständige. Die Restatmung (20—25 %) stellt möglicherweise einen dritten (ebenfalls konstant verlaufenden) Atmungsanteil dar. Dieser Anteil ist unabhängig vom Cytochromsystem.

NaN_3 bewirkt grundsätzlich in analoger Weise ebenfalls sowohl Aktivierung wie Hemmung[1]). Diese Substanz blockiert bei ihrer hemmenden Einwirkung die Cytochromoxydase[10]).

Das untenstehende Schema gibt eine Zusammenfassung der erhaltenen Resultate (+ bezeichnet Aktivierung und — Hemmung; die prinzipielle Lage der begrenzenden Reaktionen ist eingezeichnet, und die betreffenden begrenzenden Faktoren sind angegeben):



Stockholm (Schweden), Wenner-Grens-Institut für experimentelle Biologie, den 24. Februar 1942. Hans Borei.

[1]) H. Borei, Biochem. Z. 1942, im Druck.
[2]) T. J. B. Stier u. J. N. Stannard, J. gen. Physiol. 19, 461 (1936).
[3]) P. E. Lindahl, Ark. Kemi (schwed.) 14 A, Nr 12 (1940).
[4]) Eigene unveröffentlichte Untersuchungen.
[5]) O. Klein u. J. Runnström, Ark. Kemi (schwed.) 14 A, Nr 4 (1940).
[6]) Für die Besprechung der vorliegenden theoretischen Fragen bin ich Herrn Professor O. Klein großen Dank schuldig.
[7]) J. Runnström, R. Gurney u. E. Sperber, Enzymologia 10, 1 (1940).
[8]) J. Runnström, H. Borei u. E. Sperber, Ark. Kemi (schwed.) 13 A, Nr 22 (1939).
[9]) H. Borei, Ark. Kemi (schwed.) 13 A, Nr 23 (1939).
[10]) D. Keilin u. E. F. Hartree, Proc. roy. Soc. Lond. 127 B, 167 (1939).

Über kropferzeugende Substanzen pflanzlicher Herkunft.

Vor ungefähr 15 Jahren haben amerikanische Autoren[1]) gefunden, daß man durch längeres, möglichst einseitiges Verfüttern von frischem Weißkohl beim Kaninchen Kropf hervorrufen kann und daß die Kropfbildung nicht die Folge ungenügender Jodzufuhr durch die pflanzliche Nahrung, sondern auf die spezifische Wirkung einer bestimmten, im Weißkohl vorkommenden Substanz zurückzuführen ist. Dieser Befund wurde mehrfach bestätigt und erweitert[2]): Außer Weißkohl bewirkte auch die Verfütterung von frischem Rotkohl, Blumenkohl (Blätter und Blume), Wirsing und Kohl-

rabi (Knollen und Blätter) Kropf, und zwar nicht nur beim Kaninchen, sondern auch bei anderen Tierarten.

Wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht, ist die kropferzeugende Substanz (oder Substanzen) im Pflanzenreich weiter verbreitet als bisher angenommen wurde: Sie läßt sich zum mindesten in den meisten Vertretern der Familie Cruciferae, zu der unsere wichtigsten Gemüse- und wertvollen Ölpflanzen zählen, nachweisen. Sie tritt aber nicht erst in den wachsenden oder ausgewachsenen Pflanzen auf, sondern ist schon im ruhenden *Samen* in beachtlicher Menge vorhanden. Es gelingt nämlich unschwer, auch durch Verfüttern beispielsweise von Weißkohl-, Rotkohl-, Senf-, Radieschen- und Rapssamen beim Kaninchen Kropf zu erzeugen.

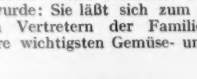


Fig. 1. *Normale Kaninchen-Schilddrüse.* Frischgewicht 0,10 g. (Natürliche Größe.)

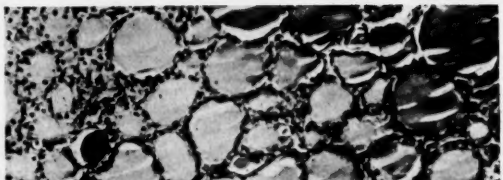


Fig. 2. Histologisches Bild der Schilddrüse in Fig. 1. (Vergr. 150 : 1.)

Fig. 3. *Schilddrüse eines Kaninchens* nach 6monatlicher Fütterung mit 80 g getrocknetem Weißkraut (das mit Petroläther und Aceton perkoliert war), 10 g Hafer und dest. Wasser. Frischgewicht 5,30 g. (Natürliche Größe.)

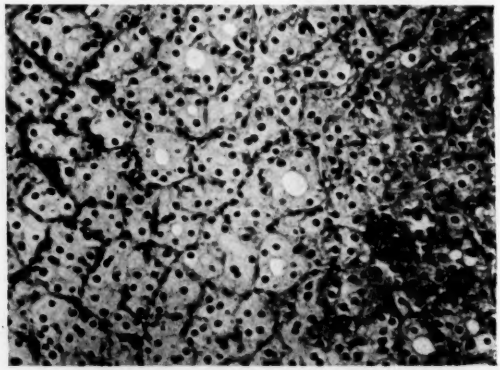


Fig. 4. *Struma diffusa parenchymatosa* (Histolog. Bild der Schilddrüse in Fig. 3). (Vergr. 150 : 1.)

Fig. 5. *Jodbasedow-Struma* (6 Tage nach Unterbrechung der Jodkali-Zugabe). (Vergr. 150 : 1.)

Über die *chemische Natur* dieser kropferzeugenden Substanz (oder Substanzen) ist nichts bekannt. Die Angaben im Schrifttum über ihre Eigenschaften sind sehr widerspruchsvoll. Entgegen der Behauptung, daß die spezifisch-wirksame Substanz beim Trocknen des frischen Weißkohls an der Luft oder im Vakuum zerstört wird, übersteht sie im geschnittenen Weißkraut das Trocknen im warmen Luftstrom zwischen 50 und 60° gut: denn mit so getrocknetem Weißkraut läßt sich, wie F. Blum[3]) nachgewiesen hat und wir bestätigen können, beim Kaninchen regelmäßig Kropf erzeugen. Auch durch Verfüttern von rohem, nicht aber von gekochtem Sauerkraut konnten wir (trotz experimenteller Schwierigkeiten) beachtliche Kröpfe erzielen; d. h. auch durch die Gärprozesse erleidet die kropferzeugende Substanz des Weißkrautes keine wesentliche Wirkungseinbuße, während sie nach ungefähr

1stündigem Kochen des Sauerkrautes anscheinend zerstört ist. Entgegen bestehender Angaben ist die kropferzeugende Substanz in Äther, Petroläther und Aceton praktisch unlöslich, in absolutem Alkohol bei gewöhnlicher Temperatur nicht merklich löslich: denn wir konnten durch Verfüttern von 1. mit Petroläther, 2. mit Petroläther und Aceton und 3. mit Petroläther, Aceton und absolutem Alkohol bei Zimmertemperatur erschöpfend perkoliertem, getrocknetem Weißkohl bei Kaninchen verschiedenster Rassen — im Sommer wie im Winter — regelmäßig Kropf erzeugen. Die Größe der Kröpfe (Frischgewicht in g) war hauptsächlich von der Dauer der Fütterung (d. h: der Menge des zugeführten spezifisch-wirksamen Stoffes) und der individuellen Empfindlichkeit der Tiere (die stark schwanken kann!) abhängig. Ein wesentlicher Einfluß der Jahreszeit auf die Kropfgröße konnte beim Verfüttern des gleichen getrockneten Weißkrautes an dem uns zur Verfügung stehenden Tiermaterial nicht beobachtet werden. Mit Petroläther entölter und anschließend mit 96proz. Alkohol ziemlich erschöpfend perkolierter gelber Senfsamen zeigte gegenüber dem Ausgangsmaterial und nur entöltem Samen eine merkliche Abschwächung seiner kropferzeugenden Wirksamkeit. Entölter, mit heißem Alkohol ausgezogener Senfsamen war im Fütterungsversuch unwirksam. Die Reindarstellung der spezifisch-wirksamen Substanz, die im Rückstand des heiß bereiteten Alkoholauszuges vorliegt, ist uns bisher noch nicht gelungen. Da für die Cruciferen der Gehalt an Senfölglucosiden kennzeichnend ist und auch die beobachteten Löslichkeitseigenschaften der „Kropfnoxe" nicht dagegen sprachen, glaubten wir zuerst, diese als die kropferzeugenden Substanzen ansprechen zu können. Versuche, durch Verfüttern von kristallisiertem Sinalbin (dem Senfölglucosid des gelben Senfs) bzw. von Sinalbin und Myrosinase (dem Senfölglucosid-spaltenden Enzym) beim Kaninchen Kropf zu erzeugen, sind aber ergebnislos verlaufen.

Auch der *Wirkungsmechanismus* der kropferzeugenden Substanz ist noch völlig unbekannt. Die von D. Marine[2]) ausgesprochene Vorstellung ist unwahrscheinlich, für die Auffassung von F. Blum[2]) spricht vieles. Auf die Ergebnisse unserer vorerst zur Orientierung angestellten Versuche wird anderen Orts näher eingegangen.

Bei der Fütterung der Kaninchen mit frischem, getrocknetem oder mit organischen Lösungsmitteln perkoliertem Weißkraut sowie mit Cruciferen-Samen entsteht immer eine *Struma diffusa parenchymatosa*[4]). Das histologische Bild ist sehr eindeutig und eintönig. In der Mehrzahl der Fälle sind die *Bläschen* (Follikel) *so klein* und die *Lumina* so *wenig deutlich*, daß die Läppchen bei schwacher Vergrößerung fast völlig *kompakt* erscheinen. Alle bisher von uns untersuchten Strumen waren praktisch *jodfrei*. Infolgedessen ist auch verständlich, warum der Grundumsatz der Kropftiere normal ist oder, nach Angaben amerikanischer Autoren, sogar 10—20% unter der Norm liegt.

Sehr bedeutsam und von großer Wichtigkeit ist der Einfluß von Jod-Ion auf die Struma diffusa parenchymatosa: Diese geht nämlich in eine *Jod-Basedowstruma* über! Die Stärke der dabei auftretenden intrathyreodalen Vorgänge und der damit verknüpften äußeren Erscheinungen sowie die Geschwindigkeit, mit der die Umstimmungsvorgänge verlaufen, sind weitgehend von der Bindungsart und der Menge des zugeführten Jods abhängig. Am heftigsten reagiert die parenchymatöse Struma auf Jodalkali, ruhiger auf „Jodostarin-Roche" (einer aliphatischen Jodverbindung), sehr viel ruhiger auf Dijodtyrosin und gar nicht auf Dijod-p-oxybenzoesäure. Die Zeitdauer der Umwandlung und die Heftigkeit der zellulären Vorgänge gehen *parallel* mit der in die Struma gelangenden Menge Jod-Ion (vgl. dazu Tabelle 1). Auch Dijodtyrosin wirkt nicht an sich, mindestens nicht in der Struma selbst, sondern nur in dem Maße, wie aus ihm Jod in Form von Jod-Ion freigesetzt wird. Und da dies verhältnismäßig langsam geschieht, verlaufen die Umwandlungsprozesse sehr viel ruhiger als bei Anwendung von — dem Dijodtyrosin äquivalenten Mengen — Jodkalium. Mit wenigen γ Jod (ungefähr 5 γ pro die) in Form von Alkalijodid lassen sich ziemlich die gleichen Vorgänge hervorrufen wie mit ungefähr 25 γ Jod in Form von Dijodtyrosin. Wird die Jodzufuhr bei Weiterfütterung der „Kropfkost" unterbrochen, so wandelt sich die Jod-Basedowstruma allmählich wieder in eine völlig jodfreie Struma diffusa parenchymatosa um. Ob und inwieweit die Hypophyse an diesen Vorgängen beteiligt ist, steht noch nicht fest.

Tabelle 1. Jodgehalt der Schilddrüse und Leber von Kaninchen, die, nachdem sie 3 Monate lang täglich mit 80 g getrocknetem Weißkraut und 10 g Hafer gefüttert worden waren, 25 γ Jod pro die in Form von Kaliumjodid, Dijodtyrosin oder Dijod-p-oxybenzoesäure subcutan zugeführt bekamen.

Dauer der Jodbehandlung in Tagen	Jodgehalt in mg/%					
	Schilddrüse			Leber		
	KJ	Dijodtyrosin	Dijodoxybenzoesäure	KJ	Dijodtyrosin	Dijodoxybenzoesäure
0	0	0	0	0,042	0,049	0,053
2	2,55	0,34	—	0,055	0,067	—
4	8,94	2,64	0	0,047	0,074	0,071
8	16,93	5,75	0	0,041	0,076	0,083
16	16,26	15,77	0	0,032	0,084	0,089
16 Tage nach Absetzung der Jodzugabe	0	0	—	0,063	0,144	—

Die weite Verbreitung der kropferzeugenden Substanz (oder Substanzen) im Pflanzenreich und der Übergang der durch diese hervorgerufenen parenchymatösen Struma durch Spuren von Jod-Ion in eine Jod-Basedowstruma mit ihren charakteristischen Folgeerscheinungen machen es sehr wahrscheinlich, daß diese Substanz auch bei der Entstehung menschlicher Hyperthyreosen, insbesondere des Morbus Basedow, eine bestimmte Rolle spielt. Auf Folgerungen, die sich daraus u. a. auch für die Ernährung im allgemeinen und der an Hyperthyreosen Erkrankten ergeben können, und schließlich auf mögliche Folgen einseitiger Rohkost soll hier nur hingewiesen werden.

Eine ausführliche Beschreibung unserer Versuche, für deren Fortsetzung die Zeitumstände leider wenig günstig sind, erfolgt an anderer Stelle[5]).

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 25. Februar 1942.

Ernst Maschmann.

[1]) A. M. Chesney, T. A. Clawson u. B. Webster, Bull. John Hopkins Hosp. **43**, 261 (1928). — B. Webster, Zweite Internat. Kropfkonferenz Bern 1933, 443.

[2]) D. Marine, E. J. Baumann, B. Webster u. A. Cipra, J. of exper. Med. **57**, 121 (1933). — R. McCarrison, India J. of med. Res. **18**, 1311 (1930); **21**, 179 (1933). — W. A. W. Spence, F. H. A. Walker u. E. P. C. Scoven, Biochemic. J. **27**, 1992 (1933). — C. E. Hercus u. H. A. A. Aitken, J. of Hyg. **33**, 55 (1933). — Bianchi, Zieglers Beitr. path. Anat. **90**, 546 (1933). — F. Blum, Endokrinol. **19**, 19 (1937) — Schweiz. med. Wschr. **68**, 889 (1938); **71**, 1612 (1941). — Dagegen C. Wegelin, Schweiz. med. Wschr. **66**, 556 (1935).

[3]) Private Mitteilung, für die ich Herrn Prof. Blum auch an dieser Stelle danken möchte.

[4]) C. Wegelin, Handb. d. spez. pathol. Anat. u. Histol. Bd. VIII, S. 1, und zwar S. 148. Berlin 1926.

[5]) Arbeiten aus dem Staatsinstitut für experimentelle Therapie und dem Forschungsinstitut für Chemotherapie.

Experimentelle Auslösung von Gigas-Mutationen bei der Hefe durch carcinogene Kohlenwasserstoffe.

In vorhergehenden Mitteilungen (Bauch 1941 und 1942) wurde berichtet, daß konstant bleibende Gigasrassen der Hefe von etwa doppeltem und vierfachem Zellvolumen durch Einwirkung verschiedener Chemikalien, vor allem durch Acenaphthen und Campher, gewonnen werden konnten. Da sich Acenaphthen bei Blütenpflanzen sowohl im cytologischen Wurzeltest wie im Zuchtexperiment als polyploidisierend erwiesen hat und Riesenwuchs auslöst, darf man die Gigasrassen der Hefe trotz vorläufigen Fehlens des cytologischen Nachweises wohl ebenfalls mit genügender Wahrscheinlichkeit als polyploid ansprechen.

Im tierischen Organismus sind Riesenzellen besonders für die bösartigen Geschwülste charakteristisch. Sowohl für den Spontankrebs bei Mensch und Tier wie für den indu-

zierten Teerkrebs, und für Carcinomexplantate sind Aberrationen der Chromosomenzahlen bis zu hohen Polyploidiegraden und Abnormitäten des Teilungsvorganges der Zellen als kennzeichnendes Merkmal nachgewiesen worden (Lit. bei BAUER 1931, KNAKE 1942, WINGE 1930). Diese Mitosestörungen und Polyploidie werden auch bei gesunden Explantaten durch den Einfluß von carcinogenen Substanzen aus der Gruppe der aromatischen Kohlenwasserstoffe ausgelöst (LEWIS 1935, v. MÖLLENDORF 1939 u. 1941). BAUER (1931) hat schon seit längerer Zeit in genetisch orientierter Betrachtungsweise alle nuclearpathologischen und experimentellen Befunde auf diesem Gebiete in der Mutationstheorie der Krebsentstehung zusammengefaßt. Sie besagt, daß bei der Krebszelle eine somatische Mutation entweder einzelner Gene oder des Chromosomenapparates eingetreten sei, und sieht in dieser genetischen Veränderung die Ursache der Krebsbildung. SHMUCK und GUSSEVA (1939 u. 1940) haben von chemischer Seite her verschiedentlich auf strukturchemische Parallelen in der Wirksamkeit carcinogener Kohlenwasserstoffe und polyploidisierender Substanzen aus der Naphthalingruppe verwiesen. Auch von physikalischer Seite her ist auf Ähnlichkeiten im Spektrogramm und der physiko-chemischen Eigenschaften des polyploidisierenden Colchicins und der carcinogenen Kohlenwasserstoffe aufmerksam gemacht worden (SCHUHLER 1940).

Diese von verschiedenen Wissensgebieten her vermuteten Beziehungen zwischen polyploidisierenden und carcinogenen Substanzen regten die Untersuchung der Frage an, ob carcinogene Stoffe ebenso wie die genannten polyploidisierenden Substanzen bei der Hefe die Bildung von Gigasrassen auszulösen vermögen. Für eine derartige Möglichkeit sprachen auch die Beobachtungen von DODGE und DODGE (1937), die in Schnittserien durch 2 Monate alte Hefekolonien auf mit Methylcholanthren versetzten Nährböden vergrößerte Hefezellen gefunden hatten. Die aufgeworfene Fragestellung schien auch geeignet, im Hinblick auf das oft erörterte, aber immer offen gebliebene Problem der mutationsauslösenden Wirkung der carcinogenen Substanzen (BUTENANDT 1940 und KNAKE 1942) eine Entscheidung zu treffen, da die Wahl einzelliger Versuchsobjekte rein methodisch den Nachweis einer „somatischen Mutation" zu führen gestattet, der bei Vielzellern im Augenblick aus methodischen Gründen unmöglich erscheint.

Dank dem Entgegenkommen der Herren Prof. BUTENANDT-Dahlem und Direktor SCHMIDT-Heidelberg war es möglich, die wichtigsten carcinogenen Substanzen, nämlich 3,4-Benzpyren, 1,2,5,6-Dibenzanthracen und Methylcholanthren, in die Hefeversuche einzustellen. Die Substanzen wurden entweder Bierwürze-Lösungen in geringer Menge zur Erzielung gesättigter Lösungen zugesetzt oder sie wurden in Aceton zur Lösung gebracht und dann der Würze zugegeben. In anderen Versuchsreihen wurden die Würzen mit 0,5 % desoxycholsaurem Natrium zur besseren Lösung der Kohlenwasserstoffe versetzt, nachdem in Vorversuchen die Toleranzgrenze der benutzten Hefe für diesen Stoff ermittelt war. Die tatsächlich erzielte Lösungskonzentration dürfte in Anbetracht der äußerst geringen Wasserlöslichkeit der Kohlenwasserstoffe minimal sein. Nach Sterilisation wurden die Nährlösungen mit dem schon in vorhergehenden Arbeiten benutzten Klon 1 einer Brauereibetriebshefe beimpft. In diesen Nährböden zeigte die Hefe keine merkbare Wachstumsbehinderung. Nach eintägigem Wachstum wurden Abimpfungen auf eine größere Anzahl von Malzagarplatten vorgenommen und die darauf entstehenden Kolonien systematisch auf das Vorkommen von Gigasrassen überprüft (bezüglich aller methodischen Einzelheiten vgl. BAUCH 1942). Bei den Acenaphthen- und Campherversuchen hatten sich Gigasformen besonders unter den kleineren Kolonien auffinden lassen. Genau so fanden sich auch jetzt unter den kleineren Kolonien, die zum Teil gerade eben mit unbewaffnetem Auge wahrnehmbar sind, Gigasformen. Für die Auslösung des Riesenwuchses waren Benzpyren und Methylcholanthren wirksam, während Dibenzanthracen bisher keine positiven Ergebnisse erbracht hat. Die bei den ersten Versuchen gewonnenen Gigasmutanten sind jetzt über 3 Monate alt und haben in mehrfachen Passagen diesen Riesenwuchs beibehalten. Die für sie auf variationsstatistischem Wege ermittelten „Vergrößerungsfaktoren" wechseln von Stamm zu Stamm zwischen den Werten 1,5 und 1,9. Ebenso wie bei den früheren Versuchen ist also eine Vergrößerung auf etwa das doppelte Zellvolumen eingetreten. Unter weiter variierten Versuchsbedingungen, über die später im einzelnen zu berichten sein wird, gelang es, schon nach 4stündiger Einwirkung von Benzpyren solche Gigasrassen zu erhalten.

Mit diesen Befunden ergeben sich auffallende Querverbindungen zwischen den Substanzen mit polyploidisierender Wirksamkeit einerseits und den carcinogenen Kohlenwasserstoffen andererseits. Da die erzielten Gigasrassen sich in beiden Fällen durchaus als konstant erwiesen haben, wird man — vorbehaltlich der weiteren genetischen Analyse über den Sexualakt — schon jetzt berechtigt sein, hier von einer mutationsauslösenden Wirkung der carcinogenen Substanzen zu sprechen. Dabei dürfte es völlig gleichgültig sein, ob die aus äußeren Gründen leider unterbrochene cytologische Analyse der Gigasrassen ihre vermutete Polyploidie nachweisen kann oder nicht. Es wird weitere Aufgabe der Forschung sein, durch Heranziehung anderer Einzeller, bei denen die genetische Analyse durch Kreuzung methodisch leichter als bei der Hefe durchzuführen ist, diese Befunde auf eine breitere Basis zu stellen.

Literatur: R. BAUCH, 1941. Naturwiss. **29**, 503 u. 687 — 1942. Wschr. Brauerei Nr 1 u. 2. — K. H. BAUER, 1931. Strahlenther. **42**, 939. — A. BUTENANDT, 1940. Angew. Chem. **53**. — C. W. DODGE u. B. S. DODGE, 1937. Ann. Missouri Bot. Garden **24**, 583. — E. KNAKE, 1942. Z. Krebsforsch. **52**, 269. — M. R. LEWIS, 1935. Amer. J. Cancer **25**, 305. — W. v. MÖLLENDORF, 1939. Z. Zellforsch. **29**, 706 — 1941. Schweiz. med. Wschr. **22**, 329. — H. SCHUHLER, 1940. C. r. Acad. Sci. Paris **210**, 489. — A. SHMUCK u. A. GUSSEVA, 1939. C. r. Acad. Sci. URSS. **24**, 441 — 1940. C. r. Acad. Sci. URSS. **26**, 316 u. 460. — Ö. WINGE, 1930. Z. Zellforsch. **10**, 683.

Rostock, den 19. März 1942. R. BAUCH.

Rothaarigkeit (Erythrotrichie), eine Mangelerscheinung bei der schwarzen Ratte.

Ernährt man junge, schwarze Ratten mit einer Mangelkost, die sich zusammensetzt aus 70 % Rohrzucker, 15 % Kasein (hochgereinigt), 10 % Maisöl und 5 % Salzmischung[1]) unter Ergänzung durch täglich 20 γ Aneurinchloridchlorhydrat, 12,5 γ Lactoflavin, 10 γ Aderminchlorhydrat, 20 γ (+) Pantothensäure als Natriumsalz, 1 mg Cholinchlorid und 1 mg Nikotinsäureamid, so zeigen die Tiere bei verzögertem Wachstum nach durchschnittlich 8—9 Versuchswochen eine eigentümliche Pelzveränderung: Meist an der Schwanzwurzel beginnend, dann an den Beinen, am Nasenrücken und auf dem Bauch entwickeln sich rotgefärbte Haare, die dem Fell an diesen Stellen zunächst einen rötlichen Schimmer und später ein rostrotes, fuchsfarbenes Aussehen geben (Erythrotrichie). Die veränderten Bezirke dehnen sich im Verlauf einiger Wochen weiter aus, bis auch der Rücken rot geworden ist.

Ersetzt man das Maisöl durch Butter, so kommt es zu keiner Veränderung der Pelzfarbe. Dagegen kann man Erythrotrichie auch bei Ratten beobachten, welche auf einer Grundkost gehalten werden, die rachitogen wirkt und sich zusammensetzt aus 150 Teilen Maismehl, 150 Teilen gestoßenen Maiskörnern, 80 Teilen Weizenkleie, 48 Teilen Kasein, 40 Teilen Gelatine, 4 Teilen Kochsalz und 12 Teilen Calciumcarbonat zuzüglich 1 ccm Hefekochsaft (= 1 g Trockenhefe). Hier entwickeln sich die roten Haare erst nach längerer Versuchsdauer und in nicht so ausgedehntem Maße. Bei Ratten der zuerst beschriebenen Diät gelang es, die Erythrotrichie zu beheben durch die wöchentliche Gabe von 50 γ β-Carotin, 1 γ Vitamin D_3, 50 γ α-Tocopherolacetat und 20 γ Methylnaphtochinon, die, gemeinsam in 0,025 ccm Laurinsäureäthylester gelöst, in den Rachen der Tiere gespritzt wurden. Diese bekamen unter gleichzeitiger Verbesserung des Wachstums im Verlauf von 4—6 Wochen ihr tief schwarzes Fell zurück.

Von den beiden bisher bekannten avitaminotischen Haarfarbenveränderungen unterscheidet sich die Erythrotrichie eindeutig: Von der durch Mangel an Pantothensäure bedingten Grauhaarigkeit (Achromotrichie) ist sie, abgesehen von der Farbe, verschieden durch die regelmäßige Lokalisation, denn die Achromotrichie tritt *nicht* gesetzmäßig an bestimmten Stellen auf[2]); und die als „rustiness" bekannte, braunrote Verfärbung der Haare albinotischer Ratten[3]) ist, wie man mikroskopisch leicht feststellen kann, ein schmieriger Belag auf den Haaren, der sich ausschließlich am Kopf, am Hals und an den Vorderpfoten finden läßt. Dieser kommt

durch Absonderung des Cu-Salzes von Koproporphyrin I und anderer Porphyrine aus der Nase der Tiere zustande[4]). Die Erythrotrichie ist demgegenüber eine *Veränderung der Eigenfarbe des Haares* mit der beschriebenen Lokalisation.

Auch bei alternden schwarzen Ratten kann man das Auftreten braunroter Haare beobachten.

Heidelberg, Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung, Institut für Chemie, den 22. März 1942.
KLAUS SCHWARZ.

[1]) Zusammensetzung der Salzmischung: R. KUHN u. G. WENDT, Ber. dtsch. chem. Ges. **71**, 781 (1938).

[2]) KL. SCHWARZ, Hoppe-Seylers Z. **273**, erscheint demnächst.

[3]) Vgl. H. S. OWENS, M. TRAUTMAN u. E. WOODS, Science (N. Y.) **93**, 406 (1940).

[4]) L. W. MCELROY, K. SALOMON, F. H. J. FIGGE u. G. R. COWGILL, Science (N. Y.) **94**, 467 (1941).

Eine Bemerkung zu den Gesetzen der schwarzen Strahlung.

In der PLANCK*schen Strahlungsformel* gibt es eigentlich 3 Konstanten: c (die Lichtgeschwindigkeit), h und k. Dasselbe gilt auch für das WIENsche Verschiebungsgesetz und das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz, welche aus der PLANCKschen Formel abgeleitet werden können.

Die älteren Werte von h und k sind folgende[1]):

$$h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}\ \text{erg} \cdot \text{sec},$$
$$k = 1{,}373 \cdot 10^{-16}\ \frac{\text{erg}}{\text{grad}}.$$

Wenn diese h- und k-Werte in die Formeln der schwarzen Strahlung eingesetzt werden, wird die Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung allgemein zufriedenstellend.

Aber in dem letzten Jahrzehnt wurde festgestellt, daß die richtigen Werte der genannten Konstanten von den früheren abweichen[2]):

$$h = 6{,}622 \cdot 10^{-27}\ \text{erg} \cdot \text{sec},$$
$$k = 1{,}382 \cdot 10^{-16}\ \frac{\text{erg}}{\text{grad}}.$$

Mit diesen neuen Werten der Konstanten bleibt die Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung bestehen, wenn als Meßwert für die STEFAN-BOLTZMANNsche Konstante der Mittelwert aller älteren und neueren Meßergebnisse angenommen wird[3]). Dieser Mittelwert ist nämlich:

$$\sigma_0 = (5{,}70 \pm 0{,}02) \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2\ \text{sec}\ \text{grad}^4}.$$

Und aus der Theorie folgt:

$$\sigma_0 = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = 5{,}687 \pm 0{,}03) \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2\ \text{cec}\ \text{grad}^4}. \qquad (1)$$

Demgegenüber fand C. MÜLLER[4]) durch sehr sorgfältig ausgeführte Messungen

$$\sigma_n = (5{,}774 \pm 0{,}02) \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2\ \text{sec}\ \text{grad}^4}.$$

Die Differenz dieser zwei letzteren Zahlenwerte ist

$$0{,}087 \cdot 10^{-5};$$

sie ist größer als der maximale Fehler von σ_n.

σ_0 in (1) ist auch kleiner als der Mittelwert $(5{,}768 \cdot 10^{-5})$ der Ergebnisse der von C. MÜLLER[5]) erwähnten Messungen der letzten Jahrzehnte.

Wir beschäftigen uns jetzt mit der Frage, wie die PLANCKsche Formel verallgemeinert werden müßte, wenn der MÜLLERsche Wert der Wirklichkeit entspräche. Eine solche verallgemeinerte Formel ist folgende:

$$\varrho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 - n\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^3}; \qquad (2)$$

ϱ_ν bedeutet die Dichte der homogenen Strahlung von der Frequenz ν, T die absolute Temperatur. Es ist ersichtlich, daß im Nenner von (2) ein neues subtrahierendes Glied mit einer neuen Konstanten (n) auftritt. Nach einer Reihenentwicklung erhalten wir:

$$\varrho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \left(1 + \frac{n\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} + \frac{n^2\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^6}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)^2} + \cdots \right). \qquad (2\,a)$$

Schließen wir die unendliche Reihe mit dem ersten Glied ab ($n = 0$), dann erhalten wir die PLANCKsche Formel; nach Abschließen der Reihe mit dem zweiten Glied gelangen wir zur Formel von STRUM[6]).

Setzen wir λ statt ν in die Formel (2) ein, dann hat diese die folgende Gestalt:

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 - n\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right)^3}. \qquad (3)$$

Auch diese Formel kann in eine unendliche Reihe entwickelt werden.

Die Formel (2) erreichen wir folgenderweise: Nehmen wir an, daß ein Atomsystem mit der schwarzen Strahlung im Gleichgewichtszustand steht. Die Bedingungsgleichung des Gleichgewichtes lösen wir durch ein Näherungsverfahren auf. Dieses Näherungsverfahren weicht von dem STRUMschen Verfahren ab. Sein Vorteil besteht darin, daß es unmittelbar jene Strahlungsformel ergibt, die durch die Verallgemeinerung der statistischen Methode abgeleitet wurde[7]).

Aus der Formel (2) folgt ein solcher Ausdruck für die STEFAN-BOLTZMANNsche Konstante, welcher — nach Einsetzen der neuen h- und k-Werte — mit der Erfahrung in vollkommenem Einklang steht, wenn die Konstante n entsprechend gewählt wird. Dieser Ausdruck ist

$$\sigma_0(1 + 0{,}995n + 1{,}117n^2 + \cdots). \qquad (4)$$

Den MÜLLERschen Wert σ_n erhalten wir, wenn

$$n = 0{,}01509$$

ist. n ist also eine kleine Zahl, wie das zu erwarten war.

[Es ist zu bemerken, daß der Zahlenwert von h nach der Berechnung von F. G. DUNNINGTON[8]) etwas kleiner ausfällt als der hier benutzte:

$$h = 6{,}613 \cdot 10^{-27}\ \text{erg} \cdot \text{sec}.$$

Mit diesem erhält man für die STEFAN-BOLTZMANNsche Konstante aus (1):

$$\sigma_0 = (5{,}709 \pm 0{,}03) \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2\ \text{sec}\ \text{grad}^4}.$$

Der entsprechende n-Wert ist 0,01109.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß der von uns benutzte OHLINsche h-Wert der richtige ist, weil dieser — obwohl er im Röntgengebiet gemessen wurde — mit dem aus der RYDBERGschen Formel berechneten h-Wert $(6{,}627 \cdot 10^{-27})$ ziemlich genau übereinstimmt.]

Aus der Formel (3) ergibt sich für die Konstante des WIEN*schen Verschiebungsgesetzes*

$$\lambda_m T = 0{,}2911\ \text{cm} \cdot \text{grad}.$$

Aus der PLANCKschen Formel erhält man 0,2895. Der Mittelwert der Meßdaten stimmt mit diesen Zahlenwerten überein[9]).

Die Formel (3) steht auch im Einklang mit den sehr bedeutenden Messungen von RUBENS und MICHEL[10]). Das ist ein sehr wichtiger Umstand. Bei der Vergleichung der Formel (3) mit den Meßergebnissen wurde der folgende neue Wert der Konstanten c_2 angewendet:

$$c_2 = \frac{hc}{k} = (1 \cdot 4374 \pm 0.0019)\ \text{cm} \cdot \text{grad}.$$

Die gemessenen c_2-Werte sind zum Beispiel in dem Handbuch der Experimentalphysik zu finden[11]).

Pécs (Ungarn), Institut für medizinische Physik, den 27. Februar 1942. E. CSÁSZÁR.

[1]) M. PLANCK, Die Theorie der Wärme, S. 231. 1930.

[2]) P. OHLIN, Diss. Uppsala 1941 — Phys. Ber. **22**, 1789 (1941). — F. HENNING, Handb. d. Phys. **2**, 496 (1926). — F. KIRCHNER, Ergebn. exakt. Naturwiss. **18**, 26 (1939). — R. LADENBURG, Ann. Phys. Lpz. (5) **28**, 458 (1937).

[3]) H. T. WENSEL, Bur. Stand. J. Res., Wash. **22**, 375 (1939).

[4]) C. MÜLLER, Z. Phys. **82**, 1 (1933).

[5]) C. Müller, l. c.
[6]) L. Strum, Z. Phys. 51, 287 (1928). — E. Császár, A. d. O. 90, 667 (1934).
[7]) D. S. Kothari u. R. Majumdar, Z. Phys. 61, 538 (1930). — A. Ganguli, Z. Phys. 66, 137 (1930).
[8]) F. G. Dunnington, Phys. Rev. 55, 683 (1939).
[9]) H. T. Wensel, l. c. — W. Nernst u. Th. Wulf, Verh. dtsch. phys. Ges. 21, 302 (1919).
[10]) H. Rubens u. G. Michel, Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-math. Kl. 38, 590 (1921).
[11]) Bd. 9, 456 (1929). — S. auch H. T. Wensel, l. c.

Dermatitis-Symptome und Haarausfall bei Laktoflavin-Mangel und fettfreier Diät.

Dermatitis bei Ratten ist eine zusammengesetzte Mangelkrankheit. Durch Arbeiten von György[1]), R. Kuhn, Birch u. a. wurde zunächst der Zusammenhang mit Vitamin B_6, dem von Kuhn[2]) synthetisierten Adermin, gezeigt. Aus zahlreichen Untersuchungen (Evans, Burr, Hume und Mitarbeitern) ging dann der Einfluß *fettarmer* Kost auf die Hauterscheinungen an der Ratte hervor. Weitere Hautfaktoren sind von Euler und Malmberg[3]), György[4]), Lepkovsky und Jukes[5]) in Betracht gezogen worden.

Bei der Mehrzahl der früheren Arbeiten über Symptome des Mangels eines B-Faktors konnten nur Aneurin und Laktoflavin, die übrigen B-Faktoren (Adermin, Pantothensäure, p-Aminobenzoesäure, Nikotinsäureamid) aber nicht in reiner Form und definierter Menge der Nahrung zugesetzt werden, wodurch viele Unsicherheiten und Widersprüche veranlaßt worden sind.

Karrer, Laszt und Verzár[6]) beschrieben eine typische symmetrische Dermatitis, hervorgerufen durch B_6-Mangel bei einer Diät, welche 10 γ Laktoflavin und 10—4 % Fett enthielt (1 % Dorschlebertran und 9—4 % Cocosfett, das sehr arm an den wichtigen ungesättigten Fettsäuren ist). Diese Avitaminose konnte geheilt werden durch große Dosen von (50—400 γ) *Laktoflavinphosphat*[7]). Dagegen erwiesen sich 200 γ Laktoflavin unwirksam, ebenso Nikotinsäureamid.

Gelegentlich einer eingehenden Untersuchung über das Zusammenwirken von B-Faktoren bei höheren Tieren haben wir folgende Beobachtungen gemacht:

Junge Ratten wurden nach Entwöhnung auf folgende fettarme Diät gesetzt:

Kasein	60 Tle.	Holzmehl . . .	8 Tle.
Weizenstärke .	316 „	Salzmischung .	16 „

Dazu: Täglich 0,05 ccm einer Lösung I, welche alle anderen bekannten B-Faktoren außer Laktoflavin enthielt, 2 mal wöchentlich 0,1 ccm einer Lösung von Vitamin-A-Konzentrat in Olivenöl.

Lösung I.	Aneurin	40 γ	in 0,05 ccm
	Nikotinsäureamid . . .	32 γ	
	Adermin	16 γ	
	Adenylsäure	32 γ	
	Pantothensäure	133 γ	
	p-Aminobenzoesäure . .	40 γ	
	$ZnCl_2$	3 γ	

Die Kost war somit bezüglich aller bekannten Faktoren außer Laktoflavin und Fett vollständig. Die bei dieser Kost eintretende Gewichtsveränderung geben wir in Fig. 1 an.

Nach 7—8 Wochen entwickelte sich eine Dermatitis mit folgenden Kennzeichen: Rauhe und schuppige Pfoten und Schwanz. In der Haut Risse, stellenweise blutig. Vom Schwanzansatz dem Rücken entlang erstreckt sich ein etwa 1 cm breites Band mit nackter, aufgesprungener, schuppiger Haut; auch am Nacken eine angegriffene Stelle. Die Schnauze und die Ohrkanten sind mit eingetrocknetem Blut verkrustet. In der Mittellinie des Bauches zieht sich ein schmales Band mit rissiger nackter Haut.

Nachdem die Tiere 67 Tage eine laktoflavinfreie Standardlösung erhalten hatten, wurde der Nahrung von 2 Versuchstieren (A und B) je 8 γ Laktoflavin zugesetzt. Wie die Kurven zeigen, setzte bald darauf eine Gewichtsvermehrung ein, anfangs ungleichmäßig, darauf ganz normal. Nach $3^1/_2$ Woche trat neuer Haarwuchs auf und die krustigen Auswüchse an Schnauze und Ohren fielen ab. Nach etwa 6 Wochen war keine Spur der Krankheit mehr wahrnehmbar und die Tiere, befanden sich sichtlich im besten Zustand.

Die beiden anderen Tiere (C und D), welche also keinen Laktoflavinzusatz zu ihrer Kost erhalten hatten, zeigten keine Besserung und befanden sich schließlich — obwohl der Gewichtsverlust nur gering war — in sehr schlechtem Zustand, welcher das eine Tier zum Tode führte und ein baldiges Ende des Tieres C erwarten ließ. 3 Wochen, nachdem die beiden anderen Tiere Laktoflavin erhalten hatten, wurde die Kost des Tieres C mit Fett ergänzt, und zwar in Form von 1 g Margarine pro Tag. Die Fettsäuren dieser Margarine bestanden aus 8—10 % Linol- und Linolensäure. Nach 10 Tagen zeigte sich der neue Pelz, aber noch nach 5 Wochen ist Tier C nicht frei von Dermatitis, obwohl das Haar überall ausgewachsen ist. Gewichtszunahme unbedeutend, und das Allgemeinbefinden, das sich nach dem Fettzusatz gebessert hatte, wieder schlechter, und nach weiteren 3 Wochen fallen die Haare wieder aus. Nach langem Laktoflavinmangel erweist sich also der Fettzusatz als nicht mehr wirksam.

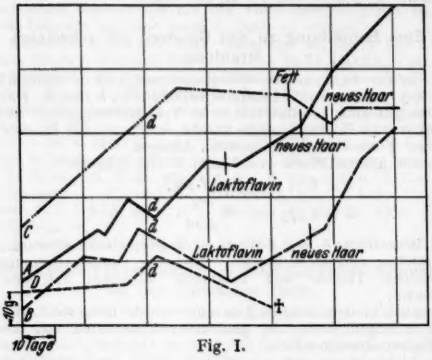


Fig. 1.

Während also der Laktoflavinzusatz sowohl den Haarverlust des Pelzes als auch die übrigen Dermatitissymptome heilte, trat durch Zusatz des Fettes zu der laktoflavinfreien Grundkost deutlich erneuter Haarwuchs, aber nur eine Linderung der Dermatitis und keine Gewichtszunahme auf.

Die Symptome des Laktoflavinmangels werden also durch den Mangel eines Fettfaktors (von Vitamincharakter) außerordentlich verstärkt[8]).

Auch in einer anderen Versuchsreihe hat bei genügendem Laktoflavinzugang die Fettfreiheit der Diät nur einen gelinderen, vorübergehenden Haarausfall und Dermatitis hervorgerufen.

Stockholm (Schweden), Vitamin-Institut der Universität, den 25. März 1942.

Beth v. Euler. Hans v. Euler. Inez Säberg.

[1]) György, Nature 133, 498 (1934).
[2]) Kuhn, Wendt u. Westphal, Ber. dtsch. chem. Ges. 72, 310 (1939).
[3]) Euler u. Malmberg, Hoppe-Seylers Z. 250, 158 (1937).
[4]) György, J. amer. chem. Soc. 60, 983 (1938)..
[5]) Schneider, Steenbock u. Platz, J. of biol. Chem. 132, 539 (1940).
[6]) Karrer, Laszt u. Verzár, Pflügers Arch. 239, 644 (1937).
[7]) Auhagen und Wendt konnten diese Wirkung nicht bestätigen [Pflügers Arch. 241, 220 (1938)].
[8]) Siehe hierzu Evans, Lepkovsky u. Murphy, J. of biol. Chem. 107, 429 (1934).

Die Bestimmung des Quarzes in feinkörnigen Mineralgemengen.

Sobald die Korngröße eine gewisse Grenze (etwa 2 μ) unterschreitet, ist die Erkennung und quantitative Bestimmung der Mineralteilchen mit dem Mikroskop nicht mehr möglich. Zwar hat man mit Hilfe von Röntgenstrahlen bei der Untersuchung feinkörniger Mineralgemenge bedeutende

Fortschritte erzielt; aber vielfach macht schon der qualitative Nachweis einer Mineralart große Schwierigkeiten (manche Mineralien sind in Mengen unter 10%, ja manche sogar unter 20% nicht nachweisbar), quantitative Angaben sind daher nur innerhalb weiter Fehlergrenzen möglich.

Da wir in letzter Zeit mehrfach genaue Quarzbestimmungen in verschiedenen Mineralgemengen (Löß, Ton, Ocker u. a.) durchzuführen hatten, haben wir die von W. R. Line und P. W. Aradine [Ind. Engng. Chem., analyt. Edit. *9*, 60—62 (1937)] empfohlene Methode mit Borfluorwasserstoffsäure (HBF_4) nachgeprüft. Durch diese Säure werden Feldspäte, Glimmer und Tonmineralien aufgelöst, während Quarz praktisch ungelöst bleibt.

Zunächst wurden Gesteinsproben benutzt, deren Quarzgehalt vorher bestimmt worden war (Integration oder Auszählen bei Schlämmfraktionen). Grobkörnige und feste Gesteine wurden dann fein gemahlen. Die Versuche mit Borfluorwasserstoffsäure ergaben recht gute Werte; z. B. ein Löß bei der optischen Auswertung der Fraktionen 54,0% Quarz, mit Borfluorwasserstoffsäure 54,5%. Die Korngröße scheint innerhalb der Grenzen von 100 bis 0,2 μ keinen erheblichen Einfluß zu haben. Über Einzelheiten soll an anderer Stelle ausführlich berichtet werden.

Mit dieser Methode kann man auch den Quarzgehalt von Staub verschiedenster Art ermitteln. Besonders wichtig ist dies für die Untersuchung von Staub silikotischer Lungen. Man kann annehmen, daß diese Art der Quarzbestimmung mit dazu beitragen wird, manche strittige Frage zu klären. Enstprechende Untersuchungen werden gegenwärtig durchgeführt.

Jena, Mineralogisches Institut der Friedrich-Schiller-Universität, im März 1942. H. Jung.

Besprechung.

MIE, GUSTAV, **Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus.** Eine Experimentalphysik des Weltäthers für Physiker, Chemiker, Elektrotechniker. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke 1941. XIX, 638 S., 318 Abb. Preis brosch. RM 46.—, geb. RM 49.—.

Im Jahre 1910 erschien die 1. Auflage des „Lehrbuches der Elektrizität und des Magnetismus" von Gustav Mie. Es war das erste experimentelle Lehrbuch, welches Ernst machte mit der bedingungslosen Einführung und Durchführung der Feldvorstellung, das nach einem wohldurchdachten Plane den Leser in die Vorstellungswelt Faradays und Maxwells einführte, ohne die geringste Anleihe an Begriffe und Vorstellungen der Fernwirkungstheorie zu machen. Daß dieses Buch tiefgehende Wirkungen auf die nach 1910 erschienene Lehrbuch-Literatur gehabt hat, ist für den Kenner unzweifelhaft, — auch wenn die betreffenden Autoren ihre Quelle nicht ausdrücklich genannt haben. Um so merkwürdiger und geradezu unverständlich ist es, daß das Miesche Werk 30 Jahre bis zu seiner 2. Auflage gebraucht hat, während Darstellungen geringeren Ranges darin glücklicher waren. Nun endlich liegt die 2. Auflage vor. Die Darstellung ist an sich elementar geblieben, wird aber nunmehr weitgehend durch die mathematische Formulierung der Lehrsätze ergänzt. Zu diesem Behufe sind dem eigentlichen Anfang des Buches drei Kapitel (Über das Unendlich-Kleine in der Physik, über das Rechnen mit Vektoren und über den Begriff der Energie) vorausgeschickt. Die hierdurch herbeigeführte Änderung ist größer, als man auf den ersten Blick annehmen sollte. Die 1. Auflage konnte einem Anfänger in die Hand gegeben werden, der noch nichts von Elektrizität gehört hatte; bei der zweiten würde ein solcher Schwierigkeiten finden, und zwar nicht nur wegen des erhöhten Niveaus der Darstellung, sondern auch, weil sich — im Zusammenhang damit — zahlreiche Verweisungen auf spätere Stellen des Buches finden. Nur wer schon eine Ahnung hat, wird an solchen Stellen voll verstehen, was gemeint ist. Diese Feststellung soll übrigens keine Kritik sein, sondern lediglich zur Charakterisierung des Standortes der neuen Auflage dienen.

Eine Reihe von Besonderheiten charakterisiert das Miesche Werk, die deshalb, obschon bereits in der 1. Auflage vorhanden, hier noch einmal angeführt werden sollen. Das Buch zerfällt in zwei große Abschnitte: „*Elektrostatik*" und „*Elektrodynamik*". Der erstere Abschnitt umfaßt aber weit mehr, als man sonst gewöhnlich darunter zu verstehen pflegt; z. B. gehört hier dazu: Kapitel V (Der elektrische Strom), Kapitel X (Eigenschaften der elektrolytischen Leiter), Kapitel XI bis XIV (Gasentladungen), Kapitel XV (Elektronenleiter), Kapitel XVI (Korpuskularstrahlen). Es ist eine *negative* Eigenschaft, vermöge deren die genannten Kapitel unter die Rubrik „Elektrostatik" fallen: In ihnen allen ist von *magnetischem Feld nicht* die Rede. Damit, mit der Charakterisierung des „*magnetischen Zustandes des Äthers*" beginnt vielmehr das I. Kapitel der *Elektrodynamik*. (Ganz konsequent ist diese zweckmäßige und sinnvolle Einteilung in einem experimentell fundierten Lehrbuche ohne Härten kaum durchzuführen — und es geschieht auch von Mie nicht. In der „Elektrostatik" wird daher — wie ganz selbstverständlich — z. B. von „äußeren Magnetfeldern" als etwas allgemein Bekanntem gesprochen; obwohl dies streng genommen eine Durchbrechung des Einteilungsprinzips ist, wird dagegen nichts zu sagen sein, da es sich hierbei gewissermaßen nur um Anwendung eines technischen und experimentellen Hilfsmittels handelt; es wird eben auch hier ein Leser vorausgesetzt, der schon etwas davon weiß.) Vielleicht ist es am besten, wenn ich Mies eigene Worte anführe: „Der Unterschied von Elektrostatik und Elektrodynamik in der Ätherphysik entspricht dem Unterschied von Statik und Dynamik in der Physik der elastischen Medien. In der mechanischen Statik werden die Gesetze der elastischen Spannungen behandelt, in der Dynamik diejenigen der Bewegungen der trägen Materie. Das Analogon der elastischen Spannung ist der elektrische Spannungszustand des Äthers, welcher in der Elektrostatik behandelt wird, und wir werden sehen, daß das Analogon der Bewegungen der trägen Materie der magnetische Zustand des Äthers ist, der den Gegenstand der Elektrodynamik bildet."

Dem Leser dieser Zeilen wird bereits das mehrfache Vorkommen des verpönten Wortes „Äther" aufgefallen sein, — und hier kommen wir zu einer weiteren Besonderheit der Mieschen Darstellung. Der Äther ist für ihn der — nicht stoffliche! — Träger der Nahewirkungen. Natürlich muß sich Mie mit den Forderungen des Relativitätsprinzipes auseinandersetzen, und er tut dies — in kurzer Weise auch schon in der 1. Auflage — mit folgenden Worten: „Man trifft noch oft auf Bedenken, dem Träger der elektromagnetischen Erscheinungen einen Namen beizulegen, ihn Äther oder Weltäther zu nennen. Das hängt damit zusammen, daß man in früheren Zeiten mit diesem Namen Mißbrauch getrieben hat, indem man mit ihm die Vorstellung verknüpfte, daß dieser Äther als ein Stoff zu verstehen sei, auf welchen, wie auf die greifbare Materie, die Begriffe der gewöhnlichen Mechanik, Bewegung, Trägheit, Elastizität, anzuwenden seien. Der Fortschritt der Wissenschaft hat es mit sich ge-

bracht, daß man jetzt allgemein von solchen naiven Mißverständnissen frei geworden ist, und man sollte eigentlich denken, dem Gebrauch des Namens ‚Äther' stünde heute nichts mehr im Wege. Nun bringt aber das Prinzip der Relativität der Bewegungen eine neue Schwierigkeit mit sich. Nach diesem Prinzip ist nämlich die Numerierung der einzelnen Punkte des Seienden nach Ort und Zeit bis zu einem gewissen Grade willkürlich. Je nach der Wahl des vierdimensionalen Bezugssystems für Ort und Zeit kann das Urteil darüber anders sein, was an verschiedenen Orten in demselben Moment geschehe, und was zu verschiedenen Zeiten an demselben Ort für Dinge seien. Der Begriff eines in jedem Moment gegebenen dreidimensionalen Kontinuums ist nicht mit Notwendigkeit festzulegen. Das Relativitätsprinzip verlangt also, wie es scheint, daß man allen Betrachtungen ein vierdimensionales Ort-Zeit-Schema zugrunde lege. Aber der menschliche Verstand kann sich nur dadurch klare Vorstellungen von den Dingen bilden, daß er immer ein bestimmtes, wenn auch willkürlich gewähltes, Ort-Zeit-Bezugsystem annimmt. Und so stellen wir uns nun dreidimensionale materielle Körper vor, deren jeder entweder in Ruhe ist oder sich mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit durch den Raum bewegt. Damit sind denn aber auch die Punkte der Weltsubstanz, des ‚leeren' Raumes festgelegt, und es hat sehr wohl einen Sinn von dieser Weltsubstanz, von dem Äther, zu sprechen. Ändern wir unser Bezugsystem, so ändern wir nur die Numerierung der Punkte des Äthers nach Ort und Zeit. Es ist unmöglich, sich Vorgänge in den von Materie freien Gebieten, in den sog. leeren Räumen, zu denken, ohne daß man sich einen Träger dieser Vorgänge denkt, ebenso wie es unmöglich ist, sich ein Prädikat zu denken ohne ein Subjekt, zu dem es gehört. Der in früheren Zeiten unter den Physikern weit verbreitete Gedanke, der sog. ‚leere Raum' sei tatsächlich ein Nichts, widerspricht den Gesetzen des logischen Denkens. Wenn wir den leeren Raum ins Auge fassen, der einen materiellen Körper umgibt, so ist er ein Inbegriff von Orten, an denen sich noch allerlei ereignen kann. Damit aber betrachten wir ihn schon als ein Etwas, das wirklich vorhanden ist. ‚Leer' nennen wir das Gebiet nur deswegen, weil es durch und durch gleichartig zu sein scheint und weil deswegen für uns nichts in ihm wahrzunehmen ist. Denn alle Wahrnehmungen beruhen darauf, daß Unterschiede vorhanden sind. ‚Leer' bedeutet also in der Physik soviel wie ‚vollkommen gleichförmig und daher noch nicht wahrnehmbar'. Es können aber sehr wohl im Ablauf der Ereignisse an verschiedenen Stellen des anfänglich noch leeren Gebietes verschiedene Zustände eintreten, beispielsweise elektrische und magnetische Zustände, durch welche ihm dann der Charakter des Leeren genommen wird, durch welche es für uns wahrnehmbar wird. Indem wir diese Zustände und ihre kausalen Zusammenhänge untersuchen, erforschen wir die physikalische Natur der Substanz in den vor dem Auftreten dieser Zustände leeren Gebieten, die Natur des Äthers. Es hat keinen Sinn, den Äther eine ‚hypothetische Substanz' zu nennen. Indem wir den Namen ‚Äther' aussprechen, stellen wir zugleich die Frage nach seinen Eigenschaften und nach seinen Gesetzmäßigkeiten. Diese Frage entscheiden wir aber nicht durch Hypothesen, sondern durch experimentelle Untersuchungen."

Soviel über die *allgemeine* Haltung des Buches. Der Inhalt im *Einzelnen* ist außerordentlich reich, und selbst die neuesten Erkenntnisse sind am gehörigen Orte dargestellt; hier zeigt ein Vergleich mit der 1. Auflage am besten, welch' ungeheure Entwicklung die Physik in den verflossenen 30 Jahren durchgemacht und mit welcher Sorgfalt der Verfasser allem Wichtigen seinen Platz angewiesen hat. Zu den gänzlich umgearbeiteten Kapiteln gehört z. B. XIII der Elektrodynamik: „Das Relativitätsprinzip". Die Umarbeitung bezieht sich vor allem auf die hinzugefügte mathematische Durchdringung. MIE bringt gleich im Beginn dieses Kapitels die vierdimensionale Formulierung der Relativitätstheorie, die pseudoeuklidische Geometrie des Raum-Zeit-Kontinuums, das Prinzip der Relativität der Bewegungen, die Transformationsformeln für das elektrische und magnetische Feld. Erst dann kommen die Versuche: MICHELSON, TROUTON-NOBLE; dann wird der Begriff der Masse (des „Trägheitsfaktors") erörtert, der Zusammenhang von Masse und Energie, und schließlich folgt ein für MIES Auffassung besonders charakteristischer (und mit seiner eigenen wissenschaftlichen Arbeit zusammenhängender) Abschnitt: *Das Problem der Materie.* Zu schade, daß der beschränkte Raum einer Rezension es verbietet, hier ausführlich zu schildern und zu zitieren; hier muß man selbst lesen.

Ganz neu ist das XIV. Kapitel: *Quantenphysik*, in dem der lichtelektrische und der Compton-Effekt ebenso ihren Platz finden wie die „Wahrscheinlichkeitswellen". Ein kurzer Abschnitt über *Wellenmechanik* beschließt das inhaltsreiche Buch.

Ein Wort noch über die *Darstellung.* Die Sprache ist schlicht und sachlich, klar und eindringlich, die Formulierung der entscheidenden Lehrsätze von einer fast pedantischen Sorgfalt, um nur ja kein Mißverständnis über den Sinn des Vorgetragenen aufkommen zu lassen: Der Lernende kann sich keinen besseren Führer wünschen. Auch die Zeichnungen sind klar und übersichtlich und erfüllen ihren Zweck durchaus. Wenn ich hier einen Wunsch für die nächste Auflage nicht unterdrücken kann, so wäre es der, daß die Abbildungen von manchem Ungeschickten und Uneleganten befreit würden, daß man — ich möchte sagen — einen künstlerischen Hauch bei ihnen verspürte: Es hat manchmal etwas Komisches an sich, wenn man jede Klemmschraube gewissenhaft ausgeführt sieht. Ein weiterer Wunsch bezieht sich auf die Vektor-Schreibweise des Vektorproduktes. In der mathematischen Enzyklopädie, die bisher vielfach maßgebend war, wird dieses Produkt $[\mathfrak{A}\,\mathfrak{B}]$ geschrieben. Daß dies manches Unzuträgliche mit sich bringt, ist inzwischen wohl allgemein anerkannt: Klammern haben in der Mathematik eine andere Funktion. Deshalb setzt sich hoffentlich bald allgemein die GIBBSsche Schreibweise $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ durch. MIE hat eine dritte Schreibweise: $[\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}]$, d. h. eckige Klammern *und* Kreuz. Dies ist — obwohl nur ein Schönheitsfehler — wirklich durch nichts gerechtfertigt und sollte so rasch wie möglich verschwinden. — In dem Kapitel über die Energie war mir die Bezeichnung gewisser Prozesse als „isothermal" bisher unbekannt; den Namen finde ich — wegen der leichten Verwechselbarkeit mit isothermen Vorgängen — auch nicht empfehlenswert. Ebensowenig möchte ich dem Verfasser zustimmen, wenn er statt der HELMHOLTZschen Bezeichnungen „freie" und „gebundene" Energie die Benennungen „arbeitsfähige" und „wärmefähige" Energie empfiehlt. — Kleinere Ausstellungen an Einzelheiten wären natürlich bei einem Buche von über 600 Seiten noch manche zu machen; sie fallen so wenig für die Beurteilung ins Gewicht, daß sie bei einer Besprechung fortfallen dürfen: Sie vermögen den starken Eindruck des MIEschen Buches nicht zu beeinträchtigen.

Möchten recht viele Lehrer und Studierende dieses Meisterwerk als Führer benutzen.

CLEMENS SCHAEFER.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜPFERT, Berlin W 9.
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.